

Aus der Veterinär-Medizinischen Klinik  
der Universität Zürich  
Direktor: Prof. Dr. W. Leemann

---

**Arterielle Blutgasanalyse bei Pferden mit chronisch-  
obstruktiven Lungenerkrankungen (COPD) in Ruhe,  
während und nach körperlicher Belastung**

**Inaugural-Dissertation**

zur Erlangung der Doktorwürde der  
Veterinär-Medizinischen Fakultät der Universität Zürich

vorgelegt von

**Ulrich Weideli**

Tierarzt

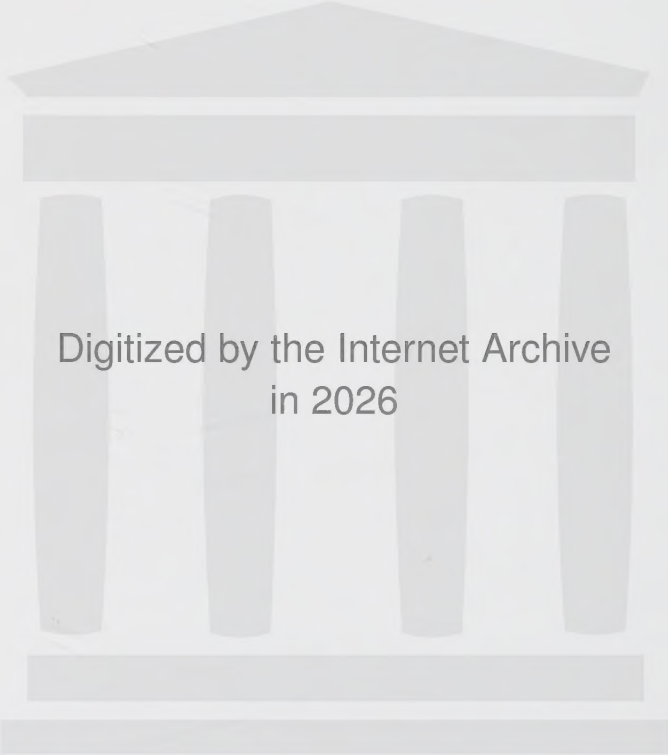
von Kreuzlingen

genehmigt auf Antrag von

Prof. Dr. W. Leemann, Referent

PD Dr. R. v. Fellenberg, Korreferent

Zürich 1981



Digitized by the Internet Archive  
in 2026

Aus der Veterinär-Medizinischen Klinik  
der Universität Zürich  
Direktor: Prof. Dr. W. Leemann

---

**Arterielle Blutgasanalyse bei Pferden mit chronisch-  
obstruktiven Lungenerkrankungen (COPD) in Ruhe,  
während und nach körperlicher Belastung**

**Inaugural-Dissertation**

zur Erlangung der Doktorwürde der  
Veterinär-Medizinischen Fakultät der Universität Zürich

vorgelegt von

**Ulrich Weideli**

Tierarzt  
von Kreuzlingen

genehmigt auf Antrag von  
Prof. Dr. W. Leemann, Referent  
PD Dr. R. v. Fellenberg, Korreferent

Zürich 1981



Für Daniella und meine Eltern



## Inhaltsverzeichnis

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Einleitung und Fragestellung                                  | 1  |
| Literaturübersicht                                            | 3  |
| Eigene Untersuchungen                                         | 7  |
| a) Material und Methoden                                      | 7  |
| b) Resultate                                                  | 11 |
| A) arterieller pH                                             | 11 |
| B) arterieller Kohlendioxid-Partialdruck                      | 18 |
| C) arterieller Sauerstoff-Partialdruck                        | 25 |
| D) Standard-Bicarbonat-Konzentration                          | 32 |
| E) arterieller Sauerstoff-Sättigungs-<br>grad des Hämoglobins | 39 |
| F) Ergebnisse der Nachuntersuchung                            | 46 |
| Diskussion                                                    | 47 |
| Zusammenfassung                                               | 54 |
| Literaturverzeichnis                                          | 55 |



## Einleitung und Fragestellung

Atemwegserkrankungen spielen seit jeher beim Pferd eine grosse Rolle. Besonders Leiden der unteren Atemwege waren und sind immer wieder Anlass zu mangelnder Leistungsfähigkeit. Von Besitzern und Reitern zwar in ihrer Bedeutung und Tragweite oft unterschätzt, stellen die chronischen Lungenleiden ein ernstes Problem dar, dem unsere besondere Beachtung bezüglich Diagnose, Prognose und Therapie gebührt.

Die Diagnostik gestaltet sich für den untersuchenden Tierarzt nicht unproblematisch, zeigen doch eine Vielzahl der Patienten mit chronischen Lungenaffektionen nur sehr diskrete oder gar keine augenfälligen Symptome. Vielfach werden jedoch auch die ersten Anzeichen übersehen oder es wird ihnen keine Bedeutung zugemessen; in diesen Fällen wird der Tierarzt dann erst mit dem Problem konfrontiert, wenn die Veränderungen ein solches Mass erreicht haben, dass keine oder nur äusserst geringe Aussicht auf eine Besserung des Zustandes besteht.

Das Ziel einer tierärztlichen Untersuchung ist immer eine möglichst differenzierte Diagnose. Im Falle einer Lungenaffektion sollte diese erkannt werden können, bevor weitgehende und irreversible strukturelle Schädigungen im Lungengewebe vorliegen.

Angesichts der Schwierigkeiten, die die Erfüllung dieses Postulates bietet, kann es nicht erstaunen, dass sich sehr viele Autoren in älterer und jüngerer Zeit mit den Problemen und Möglichkeiten der Lungendiagnostik auseinandergesetzt haben.

So vielfältig die Palette der Autoren ist, so vielfältig ist sie auch bezüglich diagnostischer Methoden und vorgeschlagener Behandlungen.

Schon längere Zeit werden die arteriellen Blutgaswerte in der Humanmedizin bei chronisch obstruktiven Lungenleiden für die diagnostische Beurteilung herangezogen. Auch in der Veterinärmedizin hat dieses diagnostische Hilfsmittel Eingang gefunden und wird heute in vielen Kliniken angewendet.

Mit der hier vorliegenden Arbeit soll abgeklärt werden, inwiefern die Bestimmung von verschiedenen Messgrössen, insbesondere des Sauerstoffpartialdruckes, im arteriellen Blut chronisch lungen-

kranker Pferde Hinweise auf Schwere und Ausdehnung der Veränderungen geben können und wie sich diese Parameter unter forcierter Atmung sowie während einer körperlichen Belastung mit anschliessender Erholungszeit verändern.

## Literaturübersicht

Schon im ausgehenden 18. sowie im 19. Jahrhundert widmeten sich verschiedene Autoren dem Problem der Erkrankungen des Respirationstraktes beim Pferd. Bereits damals wurde erkannt, dass enge Aufstallung unter ungenügenden hygienischen Bedingungen das Auftreten und die Verbreitung von Lungenkrankheiten fördern (26).

Bis heute hat sich dies nicht verändert. Die stets wachsende Zahl an Sport- und Freizeitpferden, die häufig in nicht idealen Verhältnissen gehalten werden, lässt die chronischen Lungenaffektionen an Bedeutung zunehmen.

Ein chronisches Lungenleiden ist heute einer der häufigsten Gründe zu frühzeitiger Invalidität in unserer Pferdepopulation (21,46). Das klinische Bild lungenkranker Pferde ist recht uneinheitlich und die Beurteilung der Befunde basiert häufig auf subjektiven Kriterien.

Aus dem Verständnis der Pathophysiologie solcherart erkrankter Lungen kann jedoch die Symptomatik weitgehend erklärt werden. Die Tatsache, dass sich die Lunge des Pferdes in ihrem anatomischen Aufbau sowie in ihren Reaktionen gegenüber schädigenden Einflüssen derjenigen des Menschen in weiten Teilen ähnlich verhält, lässt unserer Meinung nach auch die Anwendung diagnostischer Methoden und Hilfsmittel aus der Humanmedizin in angepasster Form als sinnvoll erscheinen (4,5,6,19,20,29,37,39,44,45). Zur Prüfung, ob die Lunge eines Patienten ihre Aufgabe im Gesamtorganismus zu erfüllen noch imstande ist, bieten sich heute eine Vielzahl verschiedener und kombinierbarer Methoden an (8,13,16,18,22,23,30,32,37,39,40,41,42,47). Viele dieser Untersuchungsmethoden erfordern einen relativ grossen apparativen und zeitlichen Aufwand. Das Ziel einer Untersuchung ist das möglichst frühzeitige Erkennen eines Lungenleidens. Prognostisch ausserordentlich wichtig erscheint uns die Diagnose eines chronischen alveolären Lungenemphysems, das, wie beim Menschen, am häufigsten als schwere Komplikation einer chronischen Bronchitis auftritt (6,19,20). Allerdings ist es beim Pferd nicht möglich, ein panlobuläres Emphysem, wie es beim Mensch als Pink Puffer bezeichnet wird, von einem bronchi-

tischen zentrilobulären Emphysem, dem Blue Bloater, klinisch mit Sicherheit zu unterscheiden. Es müssen in der grossen Mehrzahl der Fälle Mischformen dieser Typen angenommen werden, liegen doch neben rein bronchitisch-obstruktiven Erscheinungen auch deutliche Verminderung der Retraktionskraft und Verlust an gasaustauschender Oberfläche vor (37).

Als ursächliche Faktoren, die im einzelnen Fall nur sehr schwierig oder gar nicht zu eruieren sind, müssen zum Beispiel Infekte viraler Natur oder auch allergische Reaktionen auf im Futter oder in der sonstigen Umgebung der Tiere vorkommende Stoffe in Betracht gezogen werden (19). In diesem Zusammenhang muss deshalb auch den Haltungsbedingungen eines solchen Tieres eine besondere Beachtung geschenkt werden.

Die im Verlaufe einer Bronchitis, unabhängig von der Ursache, auftretenden Veränderungen wie Schleimhautdysplasie, verminderte Kinozilientätigkeit und Dyskrinie infolge vermehrten Auftretens von Becherzellen, sowie ein gewisser Bronchospasmus führen zu Obstruktionen in Bronchiolen und Bronchien (3,4,7,16,45). Die bronchialen Strömungswiderstände nehmen bei grosser Stromstärke und während der Expiration zu. Der beschleunigte Luftstrom im Bereich einer Bronchialstenose bewirkt kranial der Stenose einen stärkeren Druckabfall, wobei die unter Ueberdruck stehenden Alveolen die Bronchiolen komprimieren können, was eine weitere Erhöhung des Strömungswiderstandes zur Folge hat (6,36). Hierdurch entsteht eine Erweiterung der betroffenen Alveolen, die, bei einer Behebung der Obstruktion, noch reversibel ist.

Kann jedoch die Obstruktion nicht behoben werden, wird mit der Zeit eine Schädigung der elastischen Elemente in der Alveolarwand eintreten. Dazu kommt eine lokale Minderdurchblutung durch Kompression der Kapillaren, was zu einer Atrophie der Alveolarsepten führt. Das Resultat ist in diesem Falle ein chronisch alveoläres Emphysem, gekennzeichnet von irreversiblen Schädigungen und substantiellem Verlust in den Alveolarsepten (9,24,44, 45).

Jede obstruktiv bedingte Lungenblähung führt zu einer Vergrösserung des funktionellen Totraumes. Daraus resultiert, zusammen mit einer ungleichmässigen Verteilung der inspirierten Luft gemäss

den unterschiedlichen Strömungswiderständen, eine alveoläre Hypoventilation (5).

Aus diesen Störungen ergibt sich eine vermehrte venöse Zumischung, einerseits aus nicht ventilierten Alveolen, andererseits infolge vermehrt auftretender arterio-venöser Kurzschlüsse. Normalerweise beträgt die Zumischung in Ruhe bis etwa 7% des Herz-Zeit-Volumens, kann jedoch in schweren Fällen bis  $1/3$  des Herz-Zeit-Volumens ausmachen (5,6).

Gestörte Durchblutungsverhältnisse treten vor allem in emphysematösen Bezirken auf, wo infolge defekter Alveolarsepten die Dichte der durchbluteten Kapillaren stark reduziert ist (6,10,24).

Die durch die erwähnte alveoläre Hypoventilation entstehende alveoläre Hypoxie bewirkt eine arterielle Sauerstoff-Unterversorgung. Ebenfalls als Reaktion auf diese alveoläre Hypoxie ist eine Erhöhung des Lungengefässwiderstandes zu verstehen (2,10,40).

Bei gleichbleibendem oder vergrössertem Herz-Zeit-Volumen kommt es zur pulmonalen Hypertonie, die sich klinisch in einem deutlich akzentuierten zweiten Herzton äussert (14). Eine weitere Störung der normalen Lungenfunktion ist die herabgesetzte Diffusionskapazität. Diese ist abhängig vom Ausmass der gasaustauschenden Oberfläche, der Membrandicke und, weil der Sauerstoff chemisch am Hämoglobin gebunden wird, von der Kontaktzeit zwischen Alveolarluft und kapillärem Blut.

Jede dieser Komponenten kann pathologisch verändert sein; insbesondere beim Emphysem spielen Diffusionsstörungen wegen Kapillarverlusten, teilweiser Fibrose der Alveolenwände sowie alveolärer Hypoxie eine beachtliche Rolle (5,8,38,45, 48). Somit ergeben sich folgende Abweichungen von der normalen Atemfunktion: (siehe Abbildung 1).

1.) Ventilationsstörungen

- inhomogene Verteilung der inspirierten Luft
- vergrößerter funktioneller Totraum
- alveoläre Hypoventilation

2.) Perfusionsstörungen

- Verlust von Kapillaren in Emphysebezirken
- vermehrte venöse Zumischung
- erhöhter Lungengefäßwiderstand

3.) Diffusionsstörungen

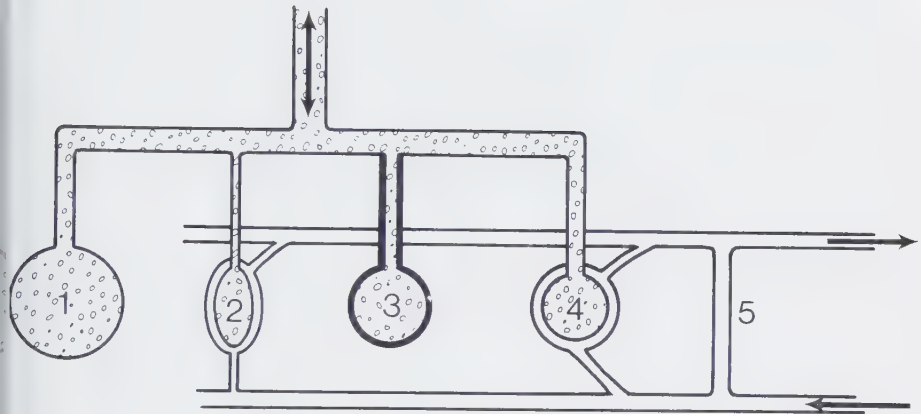
- Verkleinerung der gasaustauschenden Oberfläche
- alveoläre Hypoxie
- teilweise Fibrosierung der Alveolarwände

Aus allen diesen Störungen resultiert als Folge eine mehr oder weniger ausgeprägte arterielle Hypoxämie, sei es wegen der alveolären Hypoxie oder durch vermehrten venösen Zufluss zum arteriellen Blut.

Bei obstruktiven Lungenerkrankungen sind die beschriebenen Veränderungen immer, wenn auch in unterschiedlicher Schwere, anzutreffen (11,14,23,24,44).

Es erscheint uns aus diesem Grunde sinnvoll, bei der Beurteilung lungenkranker Pferde, insbesondere bei chronisch obstruktiven Leiden, den arteriellen Blutgaswerten die gebührende Beachtung zu schenken.

Abb. 1



- 1 Emphysemlase
  - 2 komprimierte u. schlecht belüftete Alveole
  - 3 Fibrose
  - 4 normal
  - 5 arterio - venöser Kurzschluss
- (vereinfacht nach Bühlmann 1975 )

## Eigene Untersuchungen

### a) Material und Methoden

Vor dem Beginn des eigentlichen Versuches wurden alle Tiere einer gründlichen klinischen Untersuchung unterzogen.

Nach einer adspektorischen Beurteilung wurde insbesondere auf Spuren von Nasenausfluss und evtl. geschwollene Lymphknoten geachtet. Besondere Beachtung galt der Atmung; man beurteilte Frequenz, Typ und Rhythmus.

Nach einer sorgfältigen Auskultation von Herz und Lunge in Ruhe wurde perkutorisch die Lage der caudalen Lungengrenze festgelegt. Dazu bedienten wir uns der Finger-Finger-Methode.

Darauf folgte eine Auskultation der Lunge während forcierter Atmung, die durch rasche intravenöse Injektion von 100 mg Lobelin (10 ml einer 1%igen Lösung) stimuliert wurde. Hierbei wurde der Auskultation der Spitzenlappen besondere Beachtung geschenkt (33). Sodann wurden die Pferde während einer halben Stunde im Trab longiert. Nach dieser Belastung und nach Beendigung der Probenentnahmen wurden die Patienten noch laryngoskopisch resp. tracheoskopisch beurteilt.

Bei den untersuchten Pferden wurden im Verlaufe der ganzen Abklärung insgesamt sechs arterielle Blutproben entnommen:

- in Ruhe, mindestens eine halbe Stunde nach dem Einsetzen des Katheters. (0-Wert)
- während der durch Lobelin forcierten Atmung (I)
- nach einer Viertelstunde Trabarbeit (II)
- nach einer halben Stunde Trabarbeit (III)
- nach einer Viertelstunde Erholung (IV)
- nach einer halben Stunde Erholung (V)

Gemessen wurden pH,  $p\text{CO}_2$ ,  $\text{PO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{O}_2\text{sat}$ , wobei die letzten beiden Größen aus den ersten drei sowie aus dem unabhängig bei jeder Probe bestimmten Hämoglobingehalt errechnet sind.

## Blutentnahme:

Zur Entnahme arterieller Blutproben eignen sich die Arteria carotis communis (2, 12, 16, 28, 31, 32), die Arteria brachialis (17, 37, 28) sowie die Arteria transversa faciei.

Für unsere Untersuchungen punktierten wir die A. trsv. faciei (35). Ihre oberflächliche Lage erleichtert das Einsetzen eines Dauerkatheters und schien uns aus diesem Grunde besonders geeignet. Sie verläuft zusammen mit einer gleichnamigen Vene ventral am Arcus zygomaticus und kann ohne Schwierigkeiten palpiert werden.

Ausser sehr geringen Hämatomen traten keine Komplikationen auf, eine wiederholte Punktion war auch bei anfänglichem Hämatom nach 2-3 Tagen wieder möglich.

Als Punktionsbesteck dienten uns Longwell<sup>R</sup>-Teflonkatheter (20 G 1½) mit Mandrin \*. (Fotos 1-4).

Der von rostral her in das Lumen der Arterie eingesetzte Katheter wurde mit dem Mandrin verschlossen und mit Klebeband am Kopf des Tieres befestigt.

Zur anaeroben Blutentnahme dienten 2-ml-Brunswick Polypropylen-spritzen\*\*, die zuvor mit Lique mine<sup>R</sup> imprägniert worden waren. (Fotos 5-6).

Nach der Entnahme wurden die Proben direkt ins Labor gebracht und verarbeitet. Wo dies nicht möglich war, wurden sie in Eiswasser gekühlt aufbewahrt. Nach Untersuchungen von Sasse (1971) und eigenen Versuchen können Proben auf diese Weise bis fünf Stunden aufbewahrt werden, ohne dass sich die gemessenen Grössen nennenswert verändern.

Zur Analyse stand uns ein vollautomatischer Blutgasanalysator zur Verfügung \*\*\*.

Alle Resultate wurden auf den aktuellen Hämoglobingehalt, auf den aktuellen Atmosphärendruck und einheitlich auf 38°C errechnet.

---

\* Ref.Nr.6745 F der Firma Becton-Dickinson, 4142 Münchenstein

\*\* Sherwood Medical Industries Ltd., Bezug: Veterinaria Zürich.

\*\*\* Corning 175, Automatic pH and Blood Gas System,  
Firma Coramed, 8305 Dietlikon

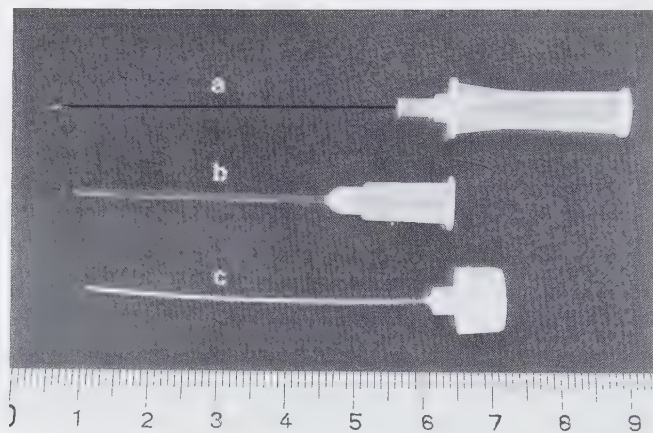


Foto 1: Longdwell<sup>R</sup> - Verweilkatheter

- a) Führungskanüle
- b) Katheter
- c) Mandrin

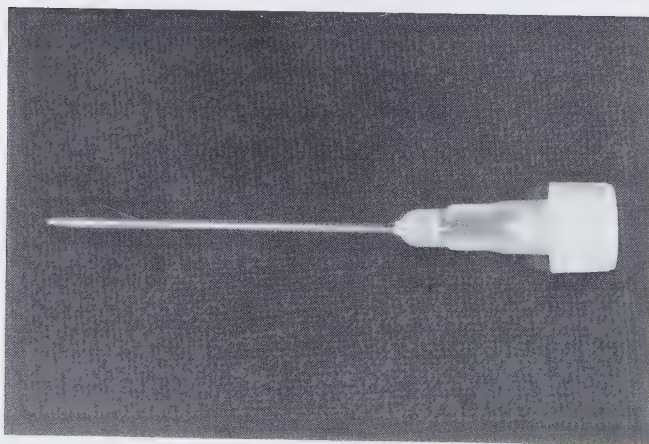


Foto 2: Longdwell<sup>R</sup> - Verweilkatheter,  
Mandrin eingesetzt.

Foto 3:

Katheter in die  
Arteria transversa  
faciei eingeführt.



Foto 4:

Detailausschnitt aus  
Foto 3.

Foto 5:  
Geöffneter Katheter  
mit aufgesetzter  
Spritze.



Foto 6:  
Während der  
Blutentnahme.



In einem ersten Versuch wurden die Proben in Ruhe, unter Belastung und in der Erholungsphase an 28 klinisch gesunden Pferden erhoben, die uns von verschiedenen Reitbetrieben in der Umgebung Zürichs freundlicherweise zur Verfügung gestellt worden waren. Sie dienten uns zur Festlegung von Normalwerten. Bei weiteren 134 Tieren, die mit chronisch-obstruktiven Lungenaffektionen (COPD (37)) zur Untersuchung an der Veterinär-Medizinischen Klinik der Universität Zürich vorgestellt wurden, konnte ebenfalls ein arterieller Blutgasstatus erhoben werden. Es handelte sich bei den hier berücksichtigten Patienten durchwegs um Pferde, deren Leiden seit länger als drei Monaten bestand, in den meisten Fällen jedoch wesentlich länger.

Bei 46 Pferden aus dieser Gruppe der erkrankten Tiere wurde eine Probenserie wie bei den gesunden Pferden untersucht. Von den restlichen 88 Patienten wurde dann, aufgrund der Ergebnisse der Serienuntersuchung, nur noch eine Blutgasbestimmung im Ruhezustand vorgenommen.

Anhand der klinisch erhobenen Befunde wurden die Patienten in zwei Gruppen eingeteilt:

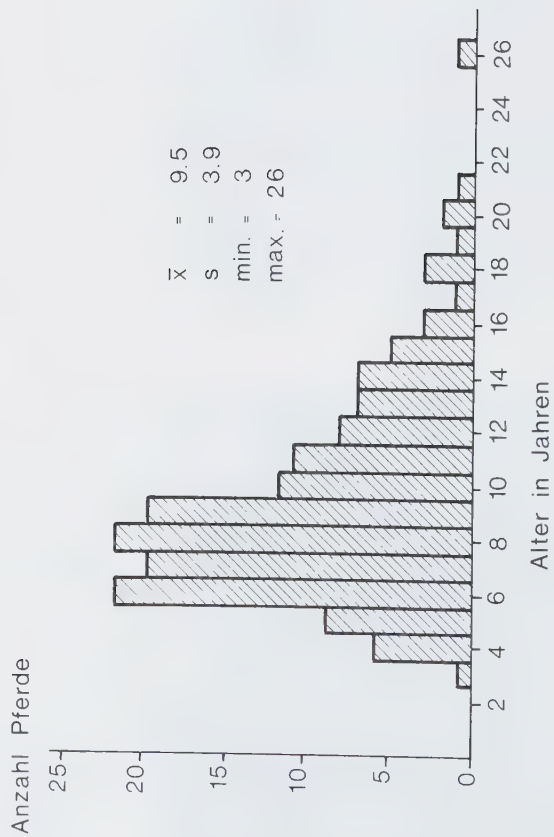
- Pferde mit chronisch-obstruktiver Lungenaffektion ohne Lungen-  
erweiterung (COPD o.LE)
- Pferde mit chronisch-obstruktiver Lungenaffektion mit Lungen-  
erweiterung (COPD + LE)

Die Einteilung in die Gruppe "COPD + LE", der natürlich der Makel der subjektiven Bewertung klinischer Befunde anhaftet, wurde nach folgenden Kriterien vorgenommen:

- ausgiebige Anamnese, auch bezüglich hygienischer Bedingungen, Leistungseinbusse usw.
- deutliche Dyspnoe, insbesondere expiratorisch
- deutlich erweitertes Lungenperkussionsfeld, nach caudal durchgebogen

Einige der Tiere aus der Gruppe "COPD + LE" wurden wegen infauster Prognose nach der Untersuchung geschlachtet, wobei pathologisch-anatomisch durchwegs ein mehr oder weniger stark ausgeprägtes alveoläres Lungenemphysem festgestellt wurde.

Abb.2 Altersverteilung der untersuchten Pferde



Unsere Probanden wurden demnach in drei Gruppen eingeteilt:

- Gesunde : Gruppe 1, umfasst 28 Tiere, Symbol ■
- COPD o.LE : Gruppe 2, umfasst 78 Tiere, Symbol 0
- COPD +LE : Gruppe 3, umfasst 56 Tiere, Symbol ▲

Die unterschiedlichen Stichprobengrößen zu den verschiedenen Zeitpunkten (s.Tabellen) resultieren daraus, dass bei vereinzelter Tieren Messwerte infolge Verlust des Katheters usw. fehlen.

Bei den untersuchten Pferden handelte es sich um vier Hengste, 123 Wallache und 35 Stuten. Ueber die Altersverteilung gibt Abbildung 2 Aufschluss.

Zusätzlich zu diesen Untersuchungen konnte bei 23 Tieren sechs Monate nach der ersten Abklärung ein klinischer Nachuntersuch mit einer Ruhe-Blutgasbestimmung vorgenommen werden. Diese Tiere hatten nach der ersten Untersuchung während 8-10 Wochen keine Arbeit zu leisten und waren während dieser Zeit in möglichst staubfreier Umgebung gehalten und nur mit Fertigfutter versorgt worden. Trat bei erneuter Heufütterung nach dieser Zeit wieder Husten auf, wurde den betreffenden Besitzern geraten, vollständig auf ein Alleinfutter umzustellen.

Nach einheitlichen Angaben aus der Human- wie aus der Veterinärmedizin spielen Alter, Geschlecht und Körpergewicht bezüglich der hier untersuchten Parameter keine nennenswerte Rolle (8,37,38). Aufgrund der Annahme, dass der Unterschied der Lungenfunktionen zwischen kleinen Pferden und Ponies nicht grösser ist als derjenige zwischen kleinen und grossen Pferden, wurden auch eine Anzahl Ponies (insgesamt 13) ohne spezielle Unterscheidung mit in die Untersuchung einbezogen.

In der statistischen Auswertung erfolgte der Vergleich der Mittelwerte mittels Varianzanalyse; mehrfache Mittelwertvergleiche wurden bei einem gesamten Fehler  $\alpha=0.05$  mit dem t-Test durchgeführt (27).

Zur Beurteilung der mittleren Differenzen gegenüber den Ruhewerten wurden die 95%-Vertrauensintervalle berechnet. Die Rechenarbeiten wurden unter Anwendung von BMDP-Programmen (15) am Rechenzentrum der Universität Zürich ausgeführt.

b) Resultate

A) Arterieller pH-Wert, apH

1) 0 - Wert, in Ruhe

Uebereinstimmend mit den Resultaten anderer Autoren konnten wir keine statistisch gesicherten pH-Unterschiede zwischen den Gruppen 1-3 feststellen (32,37). Aus Tabelle 1 sind die arteriellen pH-Werte gesunder Pferde in Ruhe, wie sie in der Literatur angegeben werden, ersichtlich.

| Autor<br>(Ref.Nr.) | 12   | 28   | 32   | 37   | vorliegende<br>Arbeit |
|--------------------|------|------|------|------|-----------------------|
| $\bar{x}$          | 7.42 | 7.41 | 7.43 | 7.34 | 7.395                 |
| s                  |      | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.043                 |
| n                  | 19   | 14   | 16   | 57   | 28                    |

Tabelle 1: Mittelwerte, Standardabweichungen und Stichprobenumfang für apH in Ruhe bei gesunden Pferden. Vergleich der Werte aus 4 Literaturhinweisen mit unseren Resultaten.

Die Resultate unserer Untersuchung für die drei Gruppen sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

| Gruppe    | 1         | 2         | 3         |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $\bar{x}$ | 7.395     | 7.373     | 7.379     |
| s         | 0.043     | 0.046     | 0.037     |
| Streuung  | 7.33-7.50 | 7.24-7.49 | 7.30-7.44 |
| n         | 28        | 78        | 56        |

Tabelle 2: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für apH in Ruhe.

2) I - Wert, unter Lobelinwirkung

Unter der atemstimulierenden Wirkung von Lobelin, das seinen Angriffspunkt an den Chemorezeptoren hat (25), konnte kein Unterschied zwischen den mittleren pH-Werten bei den drei Gruppen festgestellt werden, wie in Tabelle 3 ersichtlich ist.

| Gruppe    | 1         | 2         | 3         |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $\bar{x}$ | 7.547     | 7.526     | 7.504     |
| s         | 0.116     | 0.081     | 0.117     |
| Streuung  | 7.34-7.75 | 7.38-7.69 | 7.37-7.70 |
| n         | 24        | 20        | 12        |

Tabelle 3: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für apH unter Lobelinwirkung.

Für alle drei Gruppen wurde im Mittel ein gesicherter Anstieg gegenüber den entsprechenden Ruhewerten gefunden (Abbildung 4).

3) II - Wert, nach 15' Trab

Nach einer Viertelstunde Trabarbeit an der Longe konnte kein Unterschied der mittleren arteriellen pH-Werte der drei Gruppen festgestellt werden. Die Resultate sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

| Gruppe    | 1         | 2         | 3         |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $\bar{x}$ | 7.404     | 7.403     | 7.414     |
| s         | 0.031     | 0.028     | 0.023     |
| Streuung  | 7.36-7.47 | 7.35-7.44 | 7.38-7.45 |
| n         | 17        | 15        | 9         |

Tabelle 4: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für apH nach 15 Minuten Trab.

Die mittlere Abweichung vom 0-Wert ist für die Gruppen 2 und 3 im Sinne eines leichten Anstiegs gesichert, nicht aber in der Gruppe 1 (Abbildung 4).

4) III - Wert, nach 30' Trab

Auch nach einer halben Stunde Trabarbeit konnte zwischen den drei Gruppen kein Unterschied im mittleren arteriellen pH-Wert festgestellt werden (Tabelle 5).

| Gruppe    | 1         | 2         | 3         |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $\bar{x}$ | 7.420     | 7.410     | 7.420     |
| s         | 0.034     | 0.038     | 0.020     |
| Streuung  | 7.37-7.48 | 7.33-7.47 | 7.40-7.46 |
| n         | 17        | 14        | 8         |

Tabelle 5: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für apH nach einer halben Stunde Trab.

Die Abweichung von den entsprechenden 0-Werten ist jedoch für alle drei Gruppen als Anstieg gesichert (Abbildung 4).

5) IV - Wert, nach 15' Erholung

In der Erholungsphase, eine Viertelstunde nach der Trabelastung, konnte kein unterschiedlicher mittlerer pH-Wert bei den drei Gruppen gefunden werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 ersichtlich.

| Gruppe    | 1         | 2         | 3         |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $\bar{x}$ | 7.417     | 7.409     | 7.419     |
| s         | 0.032     | 0.030     | 0.023     |
| Streuung  | 7.37-7.48 | 7.34-7.46 | 7.37-7.44 |
| n         | 12        | 15        | 7         |

Tabelle 6: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für apH nach 15 Minuten Erholung.

Die mittleren Abweichungen vom entsprechenden 0-Wert sind für die Gruppe 2 und 3 als Anstieg gesichert, nicht aber für die Gruppe 1 (Abbildung 4).

6) V - Wert, nach 30' Erholung

Nach einer halben Stunde Erholungszeit unterscheiden sich, wie Tabelle 7 zeigt, die drei Gruppen im mittleren arteriellen pH-Wert nicht.

| Gruppe    | 1         | 2         | 3         |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $\bar{x}$ | 7.403     | 7.416     | 7.415     |
| s         | 0.028     | 0.023     | 0.008     |
| Streuung  | 7.36-7.46 | 7.37-7.46 | 7.41-7.43 |
| n         | 11        | 13        | 6         |

Tabelle 7: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für apH nach 30 Minuten Erholung.

Die mittlere Abweichung vom 0-Wert ist für die Gruppe 2 und 3 gesichert im Sinne eines Anstiegs, nicht jedoch für die Gruppe 1 (Abbildung 4).

Abb. 3 Mittelwerte des arteriellen pH bei den drei Gruppen, zu den Zeitpunkten O-V, mit Vertrauensintervall.

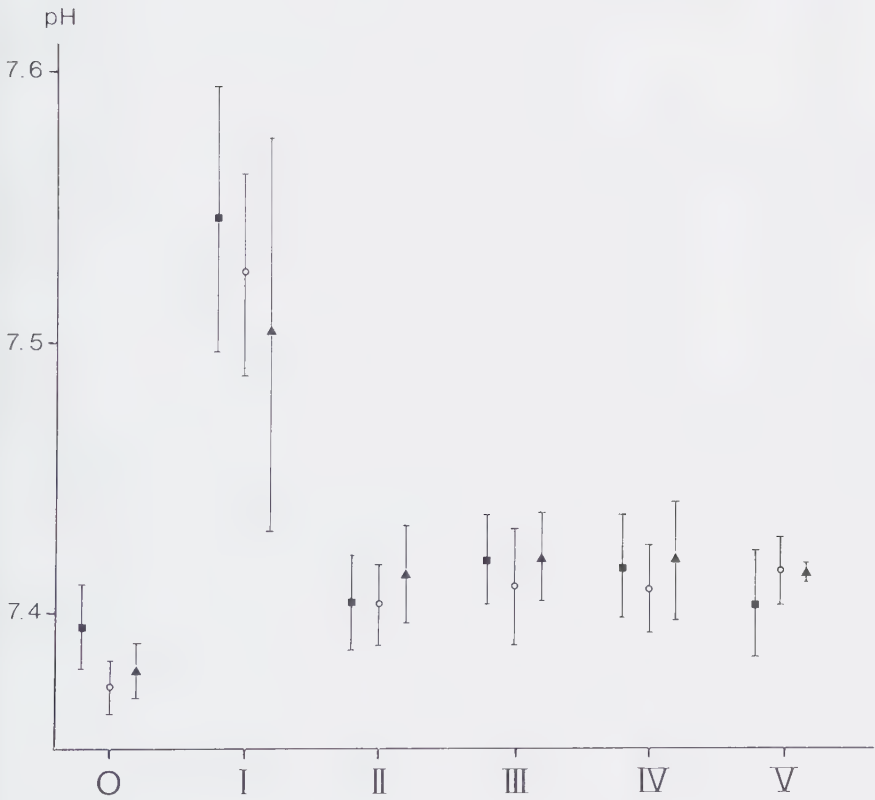
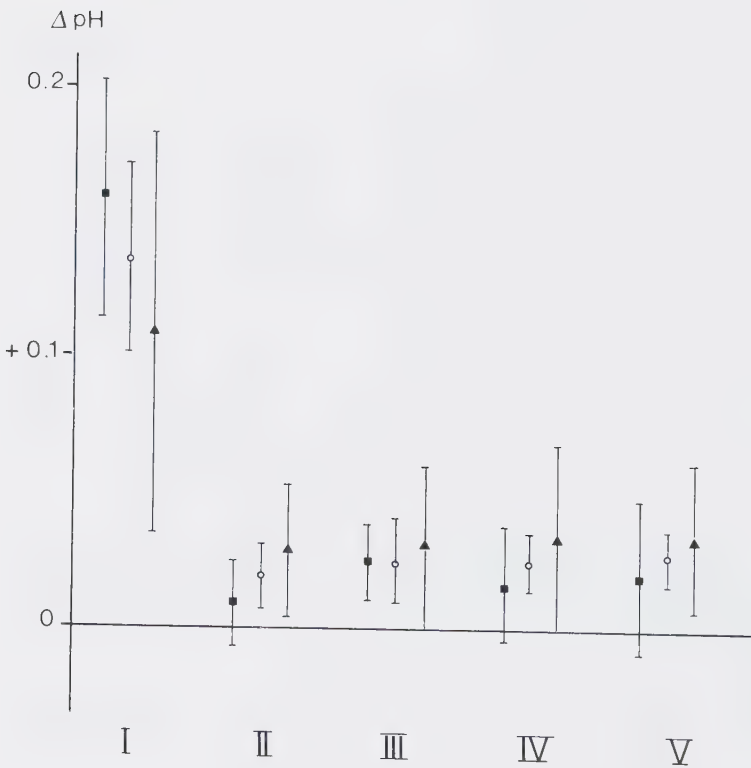


Abb. 4 Mittelwert und Vertrauensintervall der Abweichung vom Ruhewert für die drei Gruppen zu den Zeitpunkten I - V.



B) Arterieller Kohlendioxid - Partialdruck,  $\text{PaCO}_2$

1) O- Wert, in Ruhe

Unsere  $\text{PCO}_2$ -Werte der Kontrollgruppe in Ruhe lassen sich gut in die Reihe der in der Literatur gefundenen vergleichbaren Werte einfügen, wie in Tabelle 8 ersichtlich ist.

| Autor<br>(Ref.Nr.) | 12    | 16   | 28   | 32    | 37   | vorliegende<br>Arbeit |
|--------------------|-------|------|------|-------|------|-----------------------|
| $\bar{x}$          | 44.79 | 42.9 | 44.9 | 35.26 | 44.1 | 42.32                 |
| s                  |       | 3.3  | 2.5  | 4.81  | 5.1  | 4.56                  |
| n                  | 19    | 20   | 14   | 16    | 57   | 28                    |

Tabelle 8: Mittelwert, Standardabweichung und Stichprobenumfang für  $\text{PaCO}_2$  in Ruhe bei gesunden Pferden. Vergleich von 5 Literaturangaben mit unseren Resultaten.

Die mittleren Werte des  $\text{CO}_2$ -Partialdruckes der drei Gruppen weisen in Ruhe keine statistisch zu sichernden Unterschiede auf (Tabelle 9 und Abbildung 5).

| Gruppe    | 1     | 2     | 3     |
|-----------|-------|-------|-------|
| $\bar{x}$ | 42.32 | 42.92 | 43.13 |
| s         | 4.56  | 3.86  | 3.64  |
| Streuung  | 34-50 | 32-58 | 34-51 |
| n         | 28    | 78    | 56    |

Tabelle 9: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für  $\text{PaCO}_2$  in Ruhe.

2) I - Wert, unter Lobelinwirkung

Die mittleren  $\text{CO}_2$ -Partialdrucke der drei Gruppen weisen, wie Tabelle 10 zeigt, während forcierter Atmung keine signifikanten Unterschiede auf.

| Gruppe    | 1     | 2     | 3     |
|-----------|-------|-------|-------|
| $\bar{x}$ | 30.13 | 29.00 | 31.83 |
| s         | 9.67  | 7.28  | 8.45  |
| Streuung  | 17-49 | 19-45 | 17-41 |
| n         | 24    | 20    | 12    |

Tabelle 10: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für  $\text{PaCO}_2$  unter Lobelinwirkung.

Sie liegen für alle drei Gruppen gesichert tiefer als die entsprechenden Ruhewerte (Abbildung 6).

3) II - Wert, nach 15' Trab

Die mittleren  $\text{CO}_2$ -Partialdrucke der drei Gruppen sind nach einer Viertelstunde Trab untereinander nicht signifikant unterschiedlich. In Tabelle 11 sind diese Ergebnisse zusammengestellt.

| Gruppe    | 1     | 2     | 3     |
|-----------|-------|-------|-------|
| $\bar{x}$ | 44.06 | 41.80 | 40.56 |
| s         | 5.01  | 2.54  | 2.88  |
| Streuung  | 33-50 | 38-46 | 36-43 |
| n         | 17    | 15    | 9     |

Tabelle 11: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung  
und Stichprobenumfang für  $\text{PaCO}_2$  nach  
15 Minuten Trab.

Bei keiner der drei Gruppen konnte eine gesicherte Abweichung vom entsprechenden 0-Wert festgestellt werden (Abbildung 6).

4) III - Wert, nach 30' Trab

Nach einer halben Stunde Trabarbeit ist im Vergleich der drei Mittelwerte kein statistisch signifikanter Gruppenunterschied gefunden worden (Tabelle 12).

| Gruppe    | 1     | 2     | 3     |
|-----------|-------|-------|-------|
| $\bar{x}$ | 42.41 | 42.50 | 40.88 |
| s         | 5.37  | 3.46  | 2.70  |
| Streuung  | 30-48 | 36-48 | 37-44 |
| n         | 17    | 14    | 8     |

Tabelle 12: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für  $\text{PaCO}_2$  nach einer halben Stunde Trab.

Ebenso liegt für keine der drei Gruppen eine gesicherte Abweichung vom entsprechenden 0-Wert vor (Abbildung 6).

5) IV - Wert, nach 15' Erholung

In der Erholungsphase ist eine Viertelstunde nach Belastung (Tabelle 13) kein Unterschied zwischen den mittleren  $\text{PCO}_2$ -Werten der drei Gruppen festzustellen.

| Gruppe    | 1     | 2     | 3     |
|-----------|-------|-------|-------|
| $\bar{x}$ | 41.92 | 40.80 | 38.86 |
| s         | 4.62  | 2.93  | 5.15  |
| Streuung  | 33-49 | 36-45 | 33-45 |
| n         | 12    | 15    | 7     |

Tabelle 13: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für  $\text{PaCO}_2$  nach 15 Minuten Erholung.

Von den mittleren Abweichungen von den entsprechenden Ruhewerten ist keine gesichert (Abbildung 6).

6) V - Wert, nach 30' Erholung

Auch nach einer halben Stunde Erholungszeit sind, wie in Tabelle 14 ersichtlich, beim  $\text{CO}_2$ -Partialdruck keine Gruppenunterschiede festzustellen.

| Gruppe    | 1     | 2     | 3     |
|-----------|-------|-------|-------|
| $\bar{x}$ | 41.55 | 39.77 | 39.33 |
| s         | 3.98  | 3.14  | 2.73  |
| Streuung  | 33-46 | 35-45 | 34-41 |
| n         | 11    | 13    | 6     |

Tabelle 14: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für  $\text{PaCO}_2$  nach einer halben Stunde Erholung.

Die mittlere Abweichung von den entsprechenden 0-Werten ist für die Gruppen 1 und 2 nicht gesichert. Der Mittelwert der Abweichungen in der Gruppe 3 liegt gesichert tiefer als beim Ruhewert (Abbildung 6).

Abb. 5 Mittelwerte des  $\text{PaCO}_2$  der drei Gruppen zu den Zeitpunkten O - V, mit Vertrauensintervall.

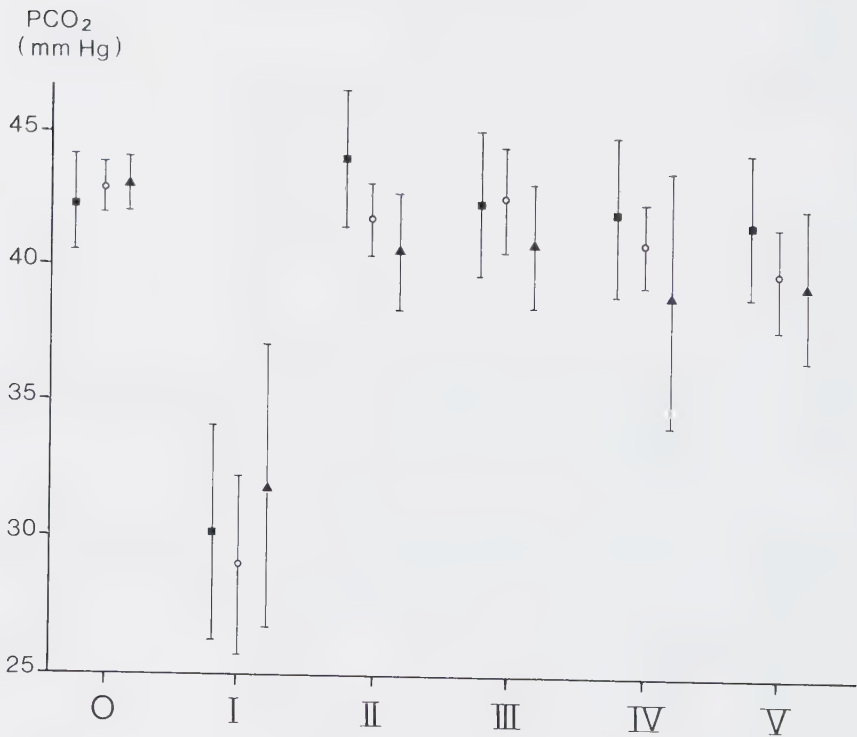
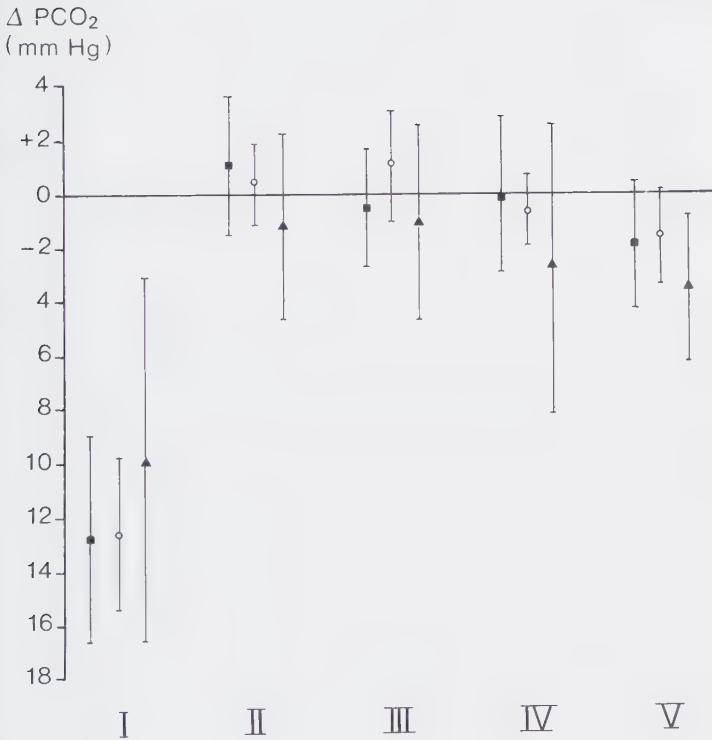


Abb. 6 Mittelwert mit Vertrauensintervall der Abweichung vom O-Wert für PaCO<sub>2</sub> der drei Gruppen zu den Zeitpunkten I - V.



C) Arterieller Sauerstoff - Partialdruck,  $\text{PaO}_2$

1) 0 - Wert, in Ruhe

Der  $\text{PaO}_2$  ist eine Messgrösse, die im Zusammenhang mit Erkrankungen des Kreislaufsystems und des Atmungsapparates eine zentrale Stellung einnimmt. Dies geht vor allem aus den oben beschriebenen pathophysiologischen Ueberlegungen hervor. Ueber Ruhewerte bei gesunden Pferden stehen uns eine ganze Anzahl Angaben zur Verfügung. Sie sind in der Tabelle 15 zusammengestellt.

| Autor<br>(Ref.Nr.)    | $\bar{x}$ | s    | n  |
|-----------------------|-----------|------|----|
| 1                     | 94        | 14   | 17 |
| 12                    | 95.45     |      | 22 |
| 14                    | 91.15     | 5.23 | 20 |
| 16                    | 104.57    | 6.05 | 20 |
| 28                    | 95.64     | 5.4  | 7  |
| 30                    | 99.5      | 7.14 | 4  |
| 32                    | 95.51     | 4.28 | 16 |
| 37                    | 100.0     | 5.3  | 57 |
| vorliegende<br>Arbeit | 105.04    | 7.69 | 28 |

Tabelle 15: Mittelwert, Standardabweichung und Stichprobenumfang für  $\text{PaO}_2$  bei gesunden Pferden in Ruhe. Vergleich der Resultate von acht Literaturangaben mit unseren Ergebnissen.

Die mittleren Ruhe-Sauerstoffpartialdrucke der von uns untersuchten Pferde sind in jeder Gruppe signifikant von den Mittelwerten der beiden anderen Gruppen verschieden, wie die Resultate in Tabelle 16 und in Abbildung 7 zeigen.

| Gruppe    | 1      | 2     | 3      |
|-----------|--------|-------|--------|
| $\bar{x}$ | 105.04 | 85.76 | 78.45  |
| s         | 7.69   | 8.46  | 9.47   |
| Streuung  | 95-125 | 54-98 | 51-102 |
| n         | 28     | 78    | 56     |

Tabelle 16: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für  $\text{PaO}_2$  in Ruhe.

2) I - Wert, unter Lobelinwirkung

Beim mittleren Sauerstoff-Partialdruck während forcierter Atmung kann kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen gefunden werden. Tabelle 17 zeigt die Resultate.

| Gruppe    | 1      | 2      | 3      |
|-----------|--------|--------|--------|
| $\bar{x}$ | 119.63 | 116.35 | 108.15 |
| s         | 15.48  | 16.17  | 25.17  |
| Streuung  | 90-142 | 88-149 | 68-141 |
| n         | 24     | 20     | 12     |

Tabelle 17: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für  $\text{PaO}_2$  unter Lobelinwirkung.

Für alle drei Gruppen liegt der mittlere  $\text{PaO}_2$  deutlich und gesichert über dem entsprechenden Ruhewert (Abbildung 8).

3) II - Wert, nach 15' Trab

Nach einer viertelstündigen Trabbelastung kann zwischen den mittleren  $\text{PaO}_2$ - Werten der drei Gruppen kein Unterschied festgestellt werden, der statistisch gesichert wäre (Tabelle 18).

| Gruppe    | 1      | 2     | 3     |
|-----------|--------|-------|-------|
| $\bar{x}$ | 79.29  | 79.80 | 72.22 |
| s         | 12.18  | 10.44 | 11.62 |
| Streuung  | 56-111 | 55-92 | 54-89 |
| n         | 17     | 15    | 9     |

Tabelle 18: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für  $\text{PaO}_2$  nach einer Viertelstunde Trab.

Während die Mittelwerte der Gruppen 1 und 2 signifikant unter den entsprechenden O-Werten liegen, weist die Gruppe 3 keine gesicherte Abweichung vom Ruhewert auf (Abbildung 8).

4) III - Wert, nach 30' Trab

Nach einer halben Stunde Trabarbeit unterscheiden sich die mittleren Sauerstoffpartialdrucke der Gruppe 1 und 3 signifikant. Keine gesicherten Unterschiede sind jedoch bei den andern Gruppenvergleichen zu finden. In Tabelle 19 sind die Resultate zusammengestellt.

| Gruppe    | 1      | 2     | 3     |
|-----------|--------|-------|-------|
| $\bar{x}$ | 82.47  | 78.79 | 68.89 |
| s         | 12.17  | 7.28  | 9.92  |
| Streuung  | 67-109 | 65-91 | 53-76 |
| n         | 17     | 14    | 8     |

Tabelle 19: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für  $\text{PaO}_2$  nach einer halben Stunde Trab.

Die Werte in den Gruppen 1 und 2 sind im Mittel gesichert tiefer als die entsprechenden Ruhewerte, für die Gruppe 3 kann jedoch keine gesicherte Abweichung vom 0-Wert festgestellt werden (Abbildung 8).

5) IV - Wert, nach 15' Erholung

In der Erholungsphase, eine Viertelstunde nach der Belastung, weist jeder der drei Gruppenmittelwerte einen signifikanten Unterschied zu denjenigen der andern beiden Gruppen auf (Tabelle 20).

| Gruppe    | 1      | 2     | 3     |
|-----------|--------|-------|-------|
| $\bar{x}$ | 97.00  | 86.40 | 70.29 |
| s         | 9.14   | 8.84  | 10.97 |
| Streuung  | 76-115 | 67-97 | 57-85 |
| n         | 12     | 15    | 7     |

Tabelle 20: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für  $\text{PaO}_2$  nach 15 Minuten Erholung.

Die mittleren Werte der Gruppen 1 und 2 liegen gesichert unter den entsprechenden O-Werten, die Abweichung der Gruppe 3 ist jedoch nicht gesichert (Abbildung 8).

6) V - Wert, nach 30' Erholung

Nach einer Erholungszeit von einer halben Stunde ist wiederum jeder Gruppenmittelwert signifikant von den andern beiden verschieden. Die Resultate sind aus Tabelle 21 ersichtlich.

| Gruppe    | 1      | 2     | 3     |
|-----------|--------|-------|-------|
| $\bar{x}$ | 100.09 | 89.46 | 77.33 |
| s         | 6.25   | 5.09  | 13.05 |
| Streuung  | 91-110 | 80-97 | 56-94 |
| n         | 11     | 13    | 6     |

Tabelle 21: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für  $\text{PaO}_2$  nach einer halben Stunde Erholung.

Von den Abweichungen vom Ruhewert ist nur noch diejenige der Gruppe 1 als gesichert zu betrachten, nicht aber jene der Gruppen 2 und 3 (Abbildung 8).

Abb. 7 Mittelwerte des  $\text{PaO}_2$  der drei Gruppen zu den Zeitpunkten O - V, mit Vertrauensintervall.

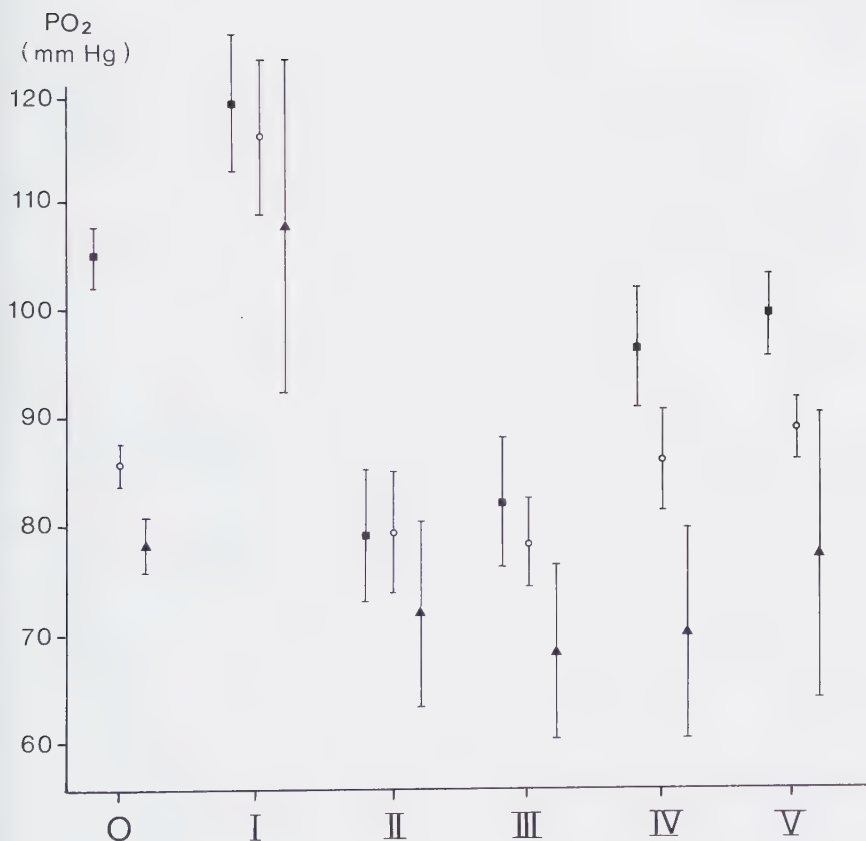
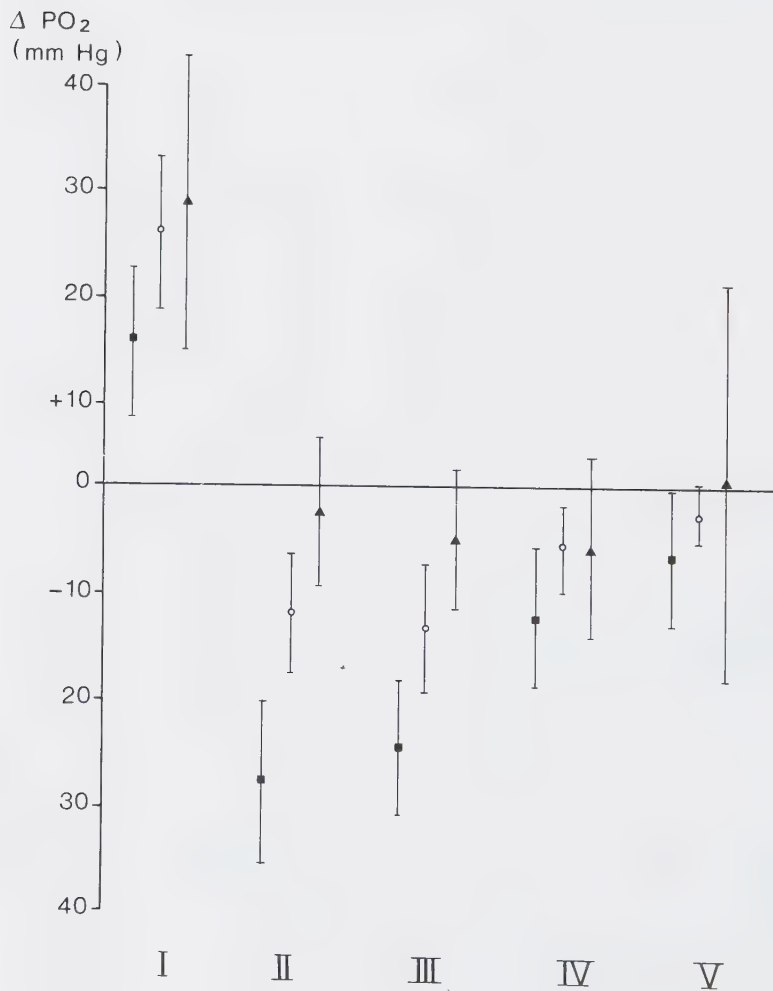


Abb. 8 Mittelwert und Vertrauensintervall der Abweichung vom Ruhewert für  $\text{PaO}_2$  der drei Gruppen zu den Zeitpunkten I - V.



D) Standard-Bicarbonat-Konzentration,  $\text{HCO}_3^-$

---

1) Q - Wert, in Ruhe

Einige Literaturangaben über die  $\text{HCO}_3^-$  -Ruhewerte bei gesunden Pferden sind in Tabelle 22 zusammengestellt.

| Autor<br>(Ref.Nr.) | 12    | 37   | vorliegende<br>Arbeit |
|--------------------|-------|------|-----------------------|
| $\bar{x}$          | 26.59 | 25.4 | 25.71                 |
| s                  |       | 1.5  | 2.24                  |
| n                  | 19    | 57   | 28                    |

Tabelle 22: Mittelwert, Standardabweichung und Stichproben-  
umfang für die  $\text{HCO}_3^-$  - Konzentration bei gesunden  
Pferden. Vergleich von zwei Literaturangaben mit  
unseren Ergebnissen.

Die mittleren  $\text{HCO}_3^-$  -Konzentrationen der drei Gruppen weisen untereinander keine statistisch signifikanten Unterschiede auf, wie Tabelle 23 und Abbildung 9 zeigen.

| Gruppe    | 1     | 2     | 3     |
|-----------|-------|-------|-------|
| $\bar{x}$ | 25.71 | 24.59 | 25.30 |
| s         | 2.24  | 2.84  | 2.66  |
| Streuung  | 22-30 | 19-32 | 20-31 |
| n         | 28    | 78    | 56    |

Tabelle 23: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für  $\text{HCO}_3^-$  in Ruhe.

2) I - Wert, unter Lobelinwirkung

Während der durch Lobelin stimulierten Hyperventilation weisen die mittleren  $\text{HCO}_3^-$ -Werte der drei Gruppen keine statistisch signifikanten Unterschiede auf, wie aus Tabelle 24 ersichtlich ist.

| Gruppe    | 1     | 2     | 3     |
|-----------|-------|-------|-------|
| $\bar{x}$ | 24.92 | 23.50 | 23.83 |
| s         | 2.24  | 2.74  | 2.41  |
| Streuung  | 20-29 | 17-29 | 20-27 |
| n         | 24    | 20    | 12    |

Tabelle 24: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für  $\text{HCO}_3^-$  unter Lobelinwirkung.

Während für die Gruppe 1 kein Unterschied gegenüber dem Ruwert gesichert ist, liegen die Werte der Gruppen 2 und 3 tiefer als die entsprechenden 0-Werte (Abbildung 10).

3) II - Wert, nach 15' Trab

Die mittleren Standard-Bicarbonat-Werte der drei Gruppen sind nach einer Viertelstunde Trabarbeit statistisch nicht voneinander verschieden. Tabelle 25 zeigt diese Ergebnisse.

| Gruppe    | 1     | 2     | 3     |
|-----------|-------|-------|-------|
| $\bar{x}$ | 27.29 | 26.00 | 25.78 |
| s         | 2.31  | 2.17  | 2.99  |
| Streuung  | 22-32 | 22-29 | 21-28 |
| n         | 17    | 15    | 9     |

Tabelle 25: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für  $\text{HCO}_3^-$  nach 15 Minuten Trab.

Die mittlere Abweichung vom Ruhewert ist nicht gesichert für die Gruppen 1 und 3, wohl aber im Sinne eines Anstiegs für die Gruppe 2 (Abbildung 10).

4) III - Wert, nach 30' Trab

Auch nach einer halbstündigen Trabbelastung lassen sich keine Unterschiede zwischen den  $\text{HCO}_3^-$ -Mittelwerten der drei Gruppen feststellen (Tabelle 26).

| Gruppe    | 1     | 2     | 3     |
|-----------|-------|-------|-------|
| $\bar{x}$ | 27.24 | 26.57 | 26.63 |
| s         | 2.22  | 2.47  | 2.33  |
| Streuung  | 22-30 | 22-30 | 23-29 |
| n         | 17    | 14    | 8     |

Tabelle 26: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für  $\text{HCO}_3^-$  nach einer halben Stunde Trab.

Die Abweichung vom Ruhewert ist im Mittel für die Gruppen 1 und 2 als Anstieg gesichert, nicht aber für die Gruppe 3 (Abbildung 10).

5) IV - Wert, nach 15' Erholung

In der Erholungszeit ist nach 15 Minuten kein signifikanter Unterschied des mittleren Standard-Bicarbonat-Gehaltes bei den drei Gruppen festzustellen. Die Resultate sind in Tabelle 27 zusammengestellt.

| Gruppe    | 1     | 2     | 3     |
|-----------|-------|-------|-------|
| $\bar{x}$ | 26.67 | 25.73 | 25.00 |
| s         | 1.83  | 2.37  | 3.16  |
| Streuung  | 24-30 | 21-30 | 21-29 |
| n         | 12    | 15    | 7     |

Tabelle 27: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für  $\text{HCO}_3^-$  nach 15 Minuten Erholung.

Ein gesicherter Anstieg gegenüber den entsprechenden Ruhewerten ist nur für die Gruppe 2 festzustellen, nicht hingegen für die Gruppen 1 und 3 (Abbildung 10).

6) V - Wert, nach 30' Erholung

Eine halbe Stunde nach der Trabbelastung ist kein Unterschied zwischen den Mittelwerten der drei Gruppen festzustellen (Tabelle 28).

| Gruppe    | 1     | 2     | 3     |
|-----------|-------|-------|-------|
| $\bar{x}$ | 25.46 | 25.23 | 25.00 |
| s         | 2.25  | 2.68  | 1.55  |
| Streuung  | 22-30 | 20-30 | 22-26 |
| n         | 11    | 13    | 6     |

Tabelle 28: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für  $\text{HCO}_3^-$  nach einer halben Stunde Erholung.

Auch die mittlere Abweichung vom entsprechenden Ruhewert ist für keine der drei Gruppen gesichert (Abbildung 10).

Abb. 9 Mittelwerte für  $\text{HCO}_3^-$  der drei Gruppen zu den Zeitpunkten I - V, mit Vertrauensintervall.

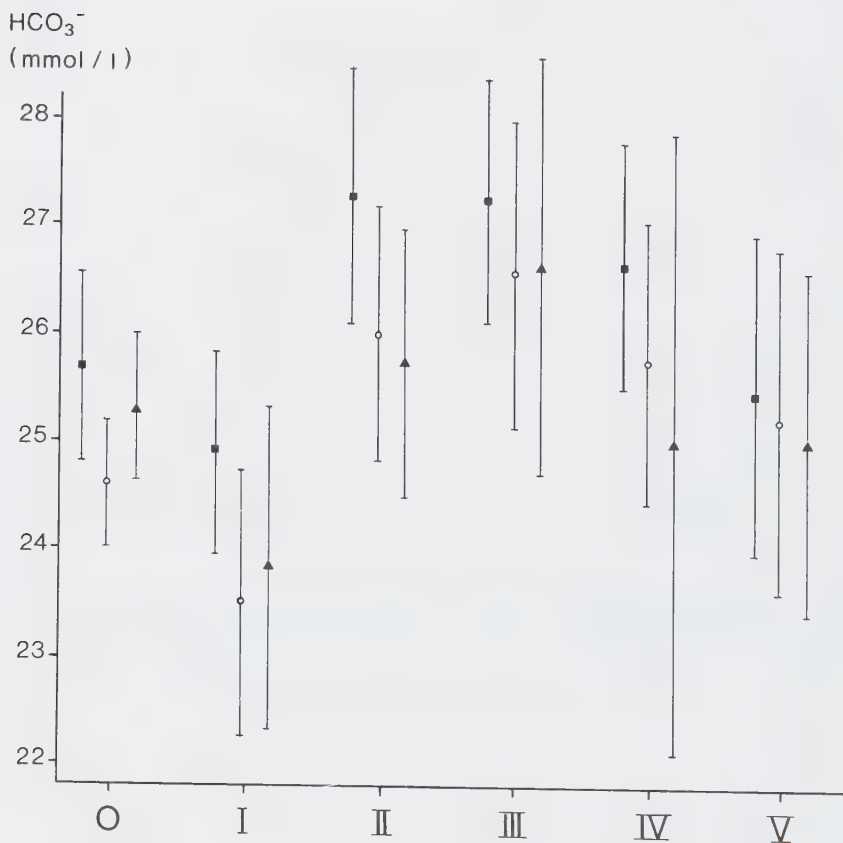
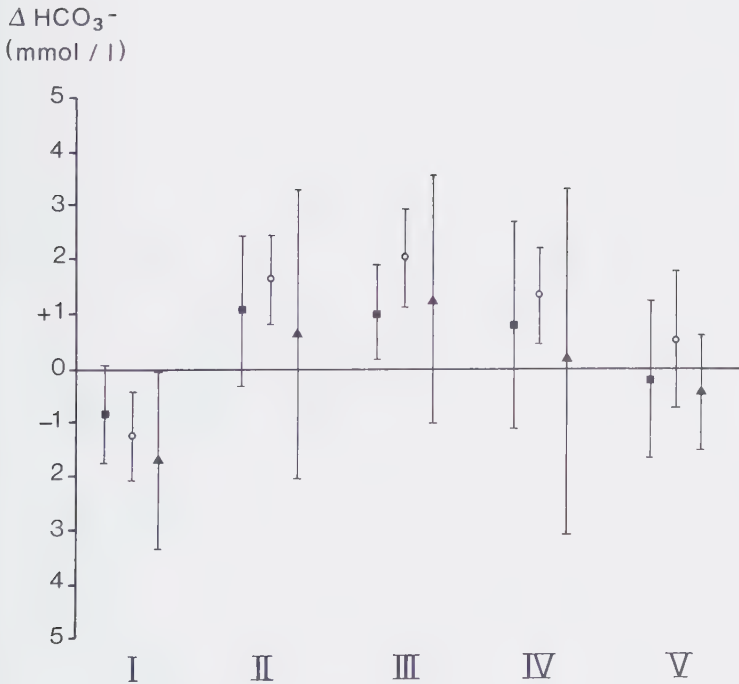


Abb. 10 Mittelwert und Vertrauensintervall der Abweichung vom O-Wert für  $\text{HCO}_3^-$  der drei Gruppen zu den Zeitpunkten I-V.



E) Arterieller Sauerstoff-Sättigungsgrad des Hämoglobins,  $aO_2\text{sat}$

1) O - Wert, in Ruhe

Tabelle 29 zeigt die von uns bei der Gruppe I gefundenen  $O_2$  - Sättigungsgrade im Vergleich mit Angaben aus dem Schrifttum.

| Autor<br>(Ref.Nr.) | 12    | 37  | vorliegende<br>Arbeit |
|--------------------|-------|-----|-----------------------|
| $\bar{x}$          | 96.82 | 97  | 97.64                 |
| s                  |       | 1.7 | 0.62                  |
| n                  | 19    | 57  | 28                    |

Tabelle 29: Mittelwert, Standardabweichung und Stichprobenumfang für  $aO_2\text{sat}$  bei gesunden Pferden in Ruhe. Vergleich von zwei Literaturangaben mit unseren Ergebnissen.

Der mittlere Sauerstoff-Sättigungsgrad jeder der drei Gruppen ist statistisch signifikant verschieden von demjenigen der beiden anderen Gruppen. In Tabelle 30 sind die Resultate zusammengestellt.

| Gruppe    | 1     | 2     | 3     |
|-----------|-------|-------|-------|
| $\bar{x}$ | 97.64 | 95.54 | 94.34 |
| s         | 0.62  | 1.92  | 2.51  |
| Streuung  | 97-99 | 84-97 | 82-98 |
| n         | 28    | 78    | 56    |

Tabelle 30: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für  $aO_2$  sat in Ruhe.

2) I - Wert, unter Lobelinwirkung

Während der forcierten Atmung kann ein signifikanter Unterschied zwischen dem mittleren  $O_2$ -Sättigungsgrad der Gruppe 1 und jenem der Gruppe 3 gefunden werden. Bei den andern Gegenüberstellungen ist kein signifikanter Unterschied festzustellen. Tabelle 31 zeigt diese Resultate.

| Gruppe    | 1     | 2     | 3     |
|-----------|-------|-------|-------|
| $\bar{x}$ | 98.50 | 98.40 | 97.58 |
| s         | 0.72  | 0.75  | 1.78  |
| Streuung  | 97-99 | 97-99 | 93-99 |
| n         | 24    | 20    | 12    |

Tabelle 31: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für  $aO_2$ sat unter Lobelinwirkung.

Für alle drei Gruppen ist der mittlere Anstieg gegenüber dem Ruhewert gesichert (Abbildung 12).

3) II - Wert, nach 15' Trab

Nach einer Viertelstunde Trabarbeit kann kein Unterschied zwischen den mittleren Sauerstoff-Sättigungswerten der drei Gruppen gefunden werden. Diese Resultate sind aus Tabelle 32 ersichtlich.

| Gruppe    | 1     | 2     | 3     |
|-----------|-------|-------|-------|
| $\bar{x}$ | 94.71 | 94.93 | 93.33 |
| s         | 2.52  | 2.84  | 4.24  |
| Streuung  | 88-98 | 86-97 | 86-97 |
| n         | 17    | 15    | 9     |

Tabelle 32: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für  $aO_2$ sat nach einer Viertelstunde Trab.

Gegenüber den korrespondierenden Ruhewerten ist das Absinken des Sättigungsgrades für die Gruppen 1 und 2 gesichert, nicht jedoch für die Gruppe 3 (Abbildung 12).

4) III - Wert, nach 30' Trab

Nach einer Trabelastung von einer halben Stunde ist die mittlere arterielle Sauerstoffsättigung der Pferde der Gruppe 3 signifikant tiefer als diejenige der Gruppen 1 und 2. Keinen signifikanten Unterschied weisen jedoch die Mittelwerte der letzteren beiden Gruppen auf (Tabelle 33).

| Gruppe    | 1     | 2     | 3     |
|-----------|-------|-------|-------|
| $\bar{x}$ | 95.41 | 95.00 | 92.38 |
| s         | 1.87  | 1.66  | 3.96  |
| Streuung  | 92-98 | 91-97 | 86-95 |
| n         | 17    | 14    | 8     |

Tabelle 33: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für aO<sub>2</sub>sat nach 30 Minuten Trab.

Die Abweichung von den entsprechenden Ruhewerten ist im Mittel für die Gruppen 1 und 2 gesichert, nicht aber für die Gruppe 3 (Abbildung 12).

5) IV - Wert, nach 15' Erholung

In der Erholungsphase, eine Viertelstunde nach der Trabelastung, liegt der mittlere  $O_2$ -Sättigungsgrad der Gruppe 3 signifikant unter denjenigen der Gruppen 1 und 2. Zwischen den Gruppen 1 und 2 lässt sich kein signifikanter Unterschied feststellen. Die Resultate sind in Tabelle 34 zusammengestellt.

| Gruppe    | 1     | 2     | 3     |
|-----------|-------|-------|-------|
| $\bar{x}$ | 97.17 | 96.20 | 94.00 |
| s         | 1.12  | 1.61  | 2.24  |
| Streuung  | 94-98 | 91-98 | 90-96 |
| n         | 12    | 15    | 7     |

Tabelle 34: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für  $aO_2$ sat nach 15 Minuten Erholung.

Die mittlere Abweichung vom 0-Wert ist lediglich für die Gruppe 1 gesichert, nicht aber für die Gruppen 2 und 3 (Abbildung 12).

6) V - Wert, nach 30' Erholung

Nach einer halben Stunde Erholungszeit ist die Sauerstoffsättigung des Hämoglobins in der Gruppe 3 im Mittel signifikant tiefer als in den Gruppen 1 und 2. Zwischen den Mittelwerten der Gruppen 1 und 2 lässt sich kein Unterschied feststellen (Tabelle 35).

| Gruppe    | 1     | 2     | 3     |
|-----------|-------|-------|-------|
| $\bar{x}$ | 97.36 | 96.85 | 94.67 |
| s         | 0.67  | 0.56  | 2.50  |
| Streuung  | 96-98 | 96-98 | 90-97 |
| n         | 11    | 13    | 6     |

Tabelle 35: Mittelwert, Standardabweichung, Streuung und Stichprobenumfang für  $aO_2$ sat nach einer halben Stunde Erholung.

Für keine der drei Gruppen darf die mittlere Abweichung vom Ruhewert zu diesem Zeitpunkt als gesichert betrachtet werden (Abbildung 12).

Abb. 11 Mittelwerte für  $aO_2$  sat der drei Gruppen zu den Zeitpunkten O – V, mit Vertrauensintervall.

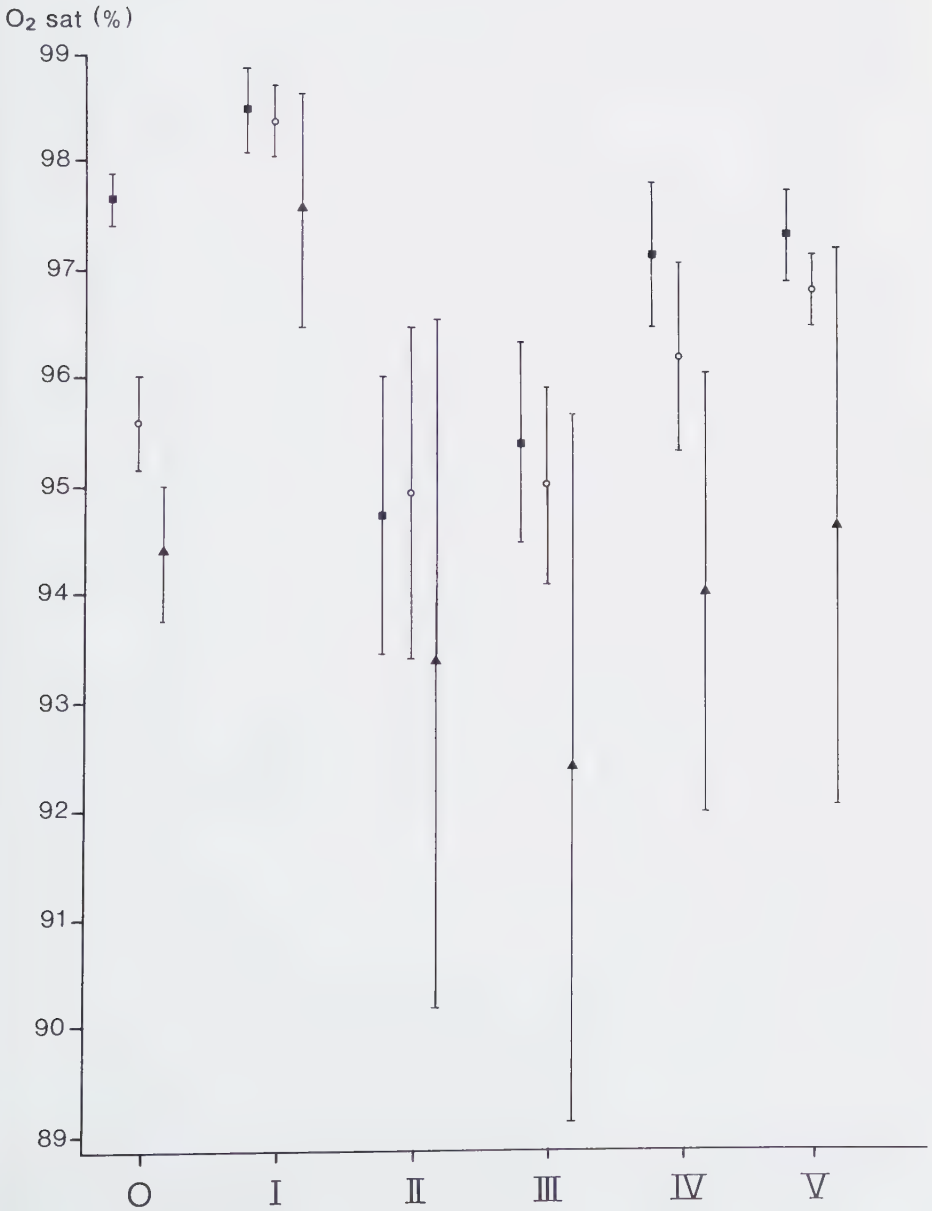
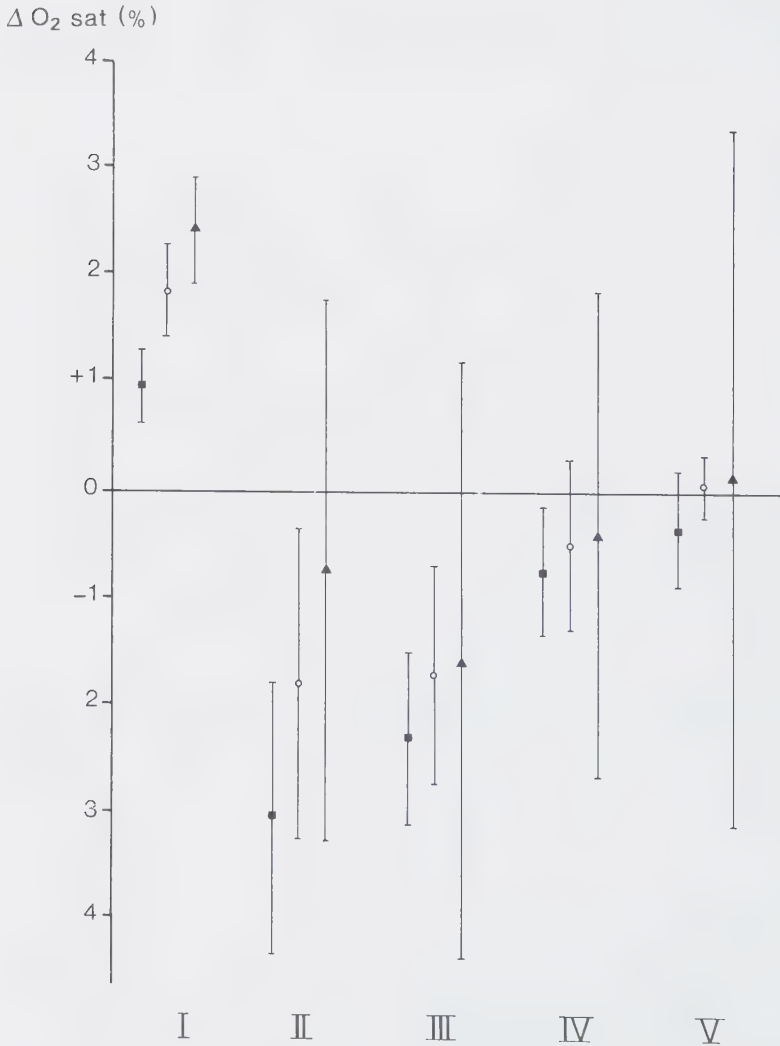


Abb. 12 Mittelwert und Vertrauensintervall der Abweichung vom Ruhewert für  $aO_2 \text{ sat}$  der drei Gruppen zu den Zeitpunkten I - V.



## F) Ergebnisse der Nachuntersuchung

Eine Nachuntersuchung konnte bei 23 Pferden 6 Monate nach der ersten Untersuchung vorgenommen werden, und zwar bei 18 Patienten aus der Gruppe 2 sowie 5 Tieren aus der Gruppe 3.

Es konnte bei keinem der gemessenen Parameter ein gesicherter Unterschied zwischen den mittleren Werten der Tiere aus den beiden Gruppen gefunden werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 36 zusammengestellt.

| Gruppe | n  |           | pH    | $\text{PaCO}_2$ | $\text{PaO}_2$ | $\text{HCO}_3^-$ | $\text{aO}_2\text{sat}$ |
|--------|----|-----------|-------|-----------------|----------------|------------------|-------------------------|
| 2      | 18 | $\bar{x}$ | 7.383 | 42.67           | 94.22          | 25.22            | 96.72                   |
|        |    | s         | 0.031 | 2.85            | 9.72           | 1.52             | 1.18                    |
| 3      | 5  | $\bar{x}$ | 7.376 | 42.00           | 94.80          | 24.00            | 96.80                   |
|        |    | s         | 0.017 | 3.00            | 7.16           | 1.23             | 0.45                    |

Tabelle 36: Mittelwerte, Standardabweichungen und Stichprobenumfang der anlässlich der Nachuntersuchung gemessenen Werte.

Eine statistisch gesicherte Abweichung von den entsprechenden O-Werten lässt sich für keinen der mittleren Werte der hier untersuchten Individuen feststellen.

## Diskussion

Die arterielle Blutgasanalyse ist beim Pferd ein diagnostisches Hilfsmittel, das im Klinikbetrieb bei Vorhandensein der entsprechenden Apparaturen ohne Schwierigkeiten angewendet werden kann. Durch das Anlegen eines Verweilkatheters in die A.transversa faciei können auch Verlaufsuntersuchungen mit mehreren in beliebigem zeitlichem Abstand entnommenen Proben gemacht werden. Dabei bringt die Punktion dieser nahe beim Auge gelegenen Arterie weder für das Pferd noch für den Untersucher grosse Schwierigkeiten.

In der Praxis dürfte die Anwendbarkeit der Blutgasanalyse davon abhängig sein, ob die Benützung eines Analysegerätes und die Verarbeitung der Probe innert weniger Stunden möglich ist. Für die Beurteilung der Funktionstüchtigkeit des Respirationsapparates bei Patienten mit Lungenaffektionen ist selbstverständlich die arterielle Sauerstoffspannung von grösster Bedeutung.

Es interessierte uns aber auch, inwieweit während der körperlichen Belastung das Säure-Basen-Gleichgewicht bei Pferden mit chronisch-obstruktiven Lungenerkrankungen gestört wird.

Wie aus der Tabelle 1 ersichtlich ist, stimmen die von uns gefundenen pH-Werte des arteriellen Blutes bei gesunden Pferden in Ruhe sehr gut mit vergleichbaren Angaben aus dem Schrifttum überein.

Wie die O-Werte für  $\text{apH}$ ,  $\text{PaCO}_2$  und  $\text{HCO}_3^-$  (Abbildung 3, 5 und 7) zeigen, bestehen bezüglich des Säure-Basen-Gleichgewichtes keine Unterschiede zwischen gesunden Pferden und solchen mit chronisch-obstruktiven-Lungenleiden. Die Feststellung von Dixon (1978), dass im Gegensatz zu Resultaten aus der Humanmedizin beim Pferd mit COPD weder eine Hyperkapnie noch eine Azidose vorliegt, scheint durch unsere Resultate bestätigt. Ebenso wurde bei Pferden aus der Gruppe 3 mit erhöhten Atemfrequenzen kein Hinweis auf das Vorliegen einer durch Hyperventilation der ohne Behinderung belüfteten Lungenbezirke verursachten Hypokapnie gefunden. Wie auch bei der Standard-Bicarbonat-Konzentration liegen die gemessenen  $\text{PaCO}_2$ -Werte durchwegs innerhalb der physiologischen Grenzen.

Während der durch die Injektion von Lobelin künstlich stimulierten Atmung kommt es sehr kurzfristig zu deutlichen Abweichungen von den Ruhewerten. Die Hyperventilation, die meistens nur etwa eine halbe Minute lang anhält, führt bei den Tieren in allen drei Gruppen zu einer ausgeprägten Hypokapnie (Abbildung 5 und 6). Die Veränderungen beim  $\text{HCO}_3^-$ , die zwar für die Gruppen 2 und 3 als signifikant anzusehen sind und auch für die Gruppe 1 zu erkennen ist, sind bei weitem nicht so deutlich wie beim  $\text{PaCO}_2$  und beim pH-Wert.

Die Kompensation der unter Lobelinwirkung entstehenden respiratorischen Alkalose ist in dieser kurzen Zeitspanne nicht möglich. Daher entsprechen die jeweiligen Abweichungen des pH-Wertes mit umgekehrten Vorzeichen denjenigen des  $\text{CO}_2$ -Partialdruckes. Das Ausmass der Abweichung vom 0-Wert ist beim pH und beim  $\text{PaCO}_2$  bei den Tieren in der Gruppe 3 am wenigsten homogen. Als zwei extreme Beispiele seien hier die Pferde Nr. 64 und Nr. 67, beide aus der Gruppe 3, erwähnt:

Pferd Nr. 64, ein 17-jähriger Irländer-Wallach, hatte in Ruhe ein arterielles pH von 7.35 bei einem  $\text{PaCO}_2$  von 46 mm Hg und einer  $\text{HCO}_3^-$ -Konzentration von 26 mmol/l. Während der Hyperventilation stieg das pH auf 7.70, der  $\text{CO}_2$ -Partialdruck sank auf 17 mm Hg und der Bicarbonat-Gehalt fiel geringgradig auf 20 mmol/l. Dagegen fiel beim Pferd 67, einem 15-jährigen Irländer-Wallach, das pH während der Hyperventilation von in Ruhe 7.41 auf 7.37, das  $\text{CO}_2$  blieb mit 40 mm Hg konstant und die  $\text{HCO}_3^-$ -Konzentration fiel von 25 auf 23 mmol/l.

Nun ist zu erwähnen, dass das Pferd Nr. 67 sowohl klinisch wie auch bezüglich des  $\text{PaO}_2$  (72 mmHg gegenüber 85 mm Hg beim Pferd 64) die schwererwiegenden Befunde aufwies. Es scheint, dass das Pferd 67 an so weitgehenden Beeinträchtigungen der Atemfunktionen litt, dass auch unter Lobelinwirkung nur eine in ihrem Ausmass beschränkte Hyperventilation möglich war. Dagegen war beim Pferd 64 unter stimulierter Atmung ein deutlich verstärkter Gasaustausch möglich. Diese Feststellung wird durch die Resultate der  $\text{PaO}_2$ -Messung bei diesen beiden Patienten bekräftigt: Pferd 64, mit einem Ruhe- $\text{O}_2$ -Partialdruck von 85 mm Hg, zeigt während der Hyperventilation einen Wert von 139 mm Hg, während

der Patient Nr. 67 von in Ruhe 72 mm Hg auf lediglich 101 mm Hg unter Lobelin kommt.

Im Verlaufe der Trabelastung zeigt sich, ebenso wie auch noch in der Erholungsphase, eine leichte Erhöhung des pH-Wertes, die bereits nach 15' Trab erreicht ist und dann nicht mehr zunimmt (Abbildung 4). Zwar ist dieser Anstieg für die Gruppen 2 und 3 zu allen gemessenen Zeitpunkten gesichert und für die Gruppe 1 beim Wert III, doch ist dieser Abweichung keine sehr grosse Bedeutung zuzumessen. Da, wie in Tabelle 19 ersichtlich, der  $\text{PaCO}_2$  ungefähr auf dem gleichen Wert wie in Ruhe bleibt und sich anderseits der Verlauf beim Bicarbonat ähnlich wie beim pH-Wert präsentiert (Abbildung 10), ist anzunehmen, dass diese pH-Verschiebungen auf metabolischen und nicht auf respiratorischen Veränderungen beruhen.

Beim V - Wert, wo in allen drei Gruppen die  $\text{HCO}_3^-$  - Konzentration wieder praktisch dem 0 - Wert entspricht, aber das pH unverändert wie bei IV - Wert bleibt, zeichnet sich beim  $\text{PaCO}_2$  eine Tendenz zu einer leichten Hypokapnie ab (Abbildung 6).

Ob dieser  $\text{CO}_2$ -Verlust, der für die Gruppe 3 gegen den 0 - Wert gesichert ist, durch eine wegen der vorangegangenen Belastung andauernde Hyperventilation begründet ist, lässt sich nicht schlüssig beurteilen. Es darf jedoch angenommen werden, dass bei der Regulation dieser Messwerte im Körper der konditionelle Zustand des Patienten eine nicht unwesentliche Rolle spielt.

Die Messungen des Sauerstoff-Partialdruckes ergaben in Ruhe bei der Gruppe 1 Werte, die im Vergleich mit den Resultaten anderer Autoren zwar eher im oberen Bereich liegen, aber durchaus nicht als abweichend von jenen Resultaten zu betrachten sind (Tabelle 15). Innerhalb unserer drei Gruppen unterscheiden sich die mittleren  $\text{PaO}_2$  - Werte in jedem Falle statistisch signifikant.

Bei den Kontrolltieren in der Gruppe 1 wurde kein Ruhewert gemessen, der kleiner als 95 mm Hg gewesen wäre. In den Gruppen 2 und 3 wurden demgegenüber jedoch einzelne Werte gefunden, die, ungeachtet der Symptomatik des betreffenden Patienten, auf eine unbehinderte Lungenfunktion hätten schliessen lassen. Es ist daher nicht möglich, anhand einer Ruhe- $\text{PaO}_2$ -Messung das Vorliegen einer COPD auszuschliessen, wenn der gefundene Wert über 95 mm Hg liegt.

Allerdings muss hier erwähnt werden, dass z.B. das Pferd Nr. 82 mit dem in der Gruppe 3 höchsten  $\text{PaO}_2$  von 102 mm Hg ein äusserst nervöses Tier war, das sich bei jeder Manipulation dermassen aufregte, dass es naheliegt, diesen Messwert als für den Ruhezustand des Tieres nicht repräsentativ zu bezeichnen. Im Uebrigen lagen von den 56 Tieren in der Gruppe 3 nur noch drei weitere Pferde beim  $\text{PaO}_2$  über 90 mm Hg, nämlich Pferd 74: 93 mm, Pferd 90: 91 mm und Pferd 155: 91 mm Hg. Das heisst, dass die Abgrenzung der Tiere aus der Gruppe 3 von denjenigen aus der Gruppe 1 mit den klinischen Befunden durch die arterielle Blutgasanalyse praktisch bestätigt wird.

Andererseits ist jedoch bei einem Ruhe-Sauerstoff-Partialdruck, der deutlich unter einem Grenzwert liegt, wie er aufgrund unserer Untersuchungen bei ca. 95 mm Hg festgelegt werden muss, anzunehmen, dass der  $\text{O}_2$ -Transport in die Peripherie auf irgend eine Weise erschwert ist. Ob dies allerdings auf eine Kreislaufinsuffizienz oder aber eine Beeinträchtigung der Lungenfunktion zurückzuführen ist, muss durch die weiteren klinischen Untersuchungen abgeklärt werden.

Während der Wirkung des injizierten Lobelins steigt der  $\text{PaO}_2$  bei allen drei Gruppen stark an, wobei zwischen den mittleren Werten keine signifikanten Unterschiede bestehen. Die Streubreite der Messwerte ist zu diesem Zeitpunkt grösser als in Ruhe.

Dass der Umfang des Anstiegs innerhalb der Gruppe 3 am wenigsten homogen verteilt ist, kann auf dieselbe Weise erklärt werden wie beim  $\text{PaCO}_2$ , nämlich dass je nach Grad und Ausdehnung der Lungenveränderungen eine Hyperventilation noch durchbluteter Alveolargebiete unter Lobelin auch in unterschiedlichem Masse stattfinden wird.

Während der Trabelbelastung ist sowohl nach 15 Minuten als auch nach einer halben Stunde bei allen drei Gruppen ein Absinken des mittleren  $\text{PaO}_2$  festzustellen, wobei dies für die Gruppen 1 und 2 statistisch signifikant ist.

Obwohl für die Gruppe 3 der Unterschied gegen den Ruhewert im Mittel am geringsten und auch statistisch nicht gesichert ist, liegen die gemessenen Werte absolut gesehen immer noch tiefer als bei den andern beiden Gruppen (Abbildung 7).

Allerdings ist hier statistisch nur beim Wert II der Unterschied zwischen der Gruppe 1 und der Gruppe 3 gesichert.

Die Beobachtung, dass während der Bewegung der  $\text{PaO}_2$  absinkt, steht klar im Gegensatz zu den Resultaten der Untersuchungen von Sasse (1971). Er fand zwar zwischen gesunden Tieren und Pferden mit COPD einen signifikanten Unterschied in Ruhe, während der Belastung und nach der Erholungszeit von 30 Minuten, konnte jedoch keine statistisch gesicherten Veränderungen innerhalb der Gruppen während Arbeit und nach Erholung feststellen.

Ein im Mittel über Belastungs- und Erholungszeit annähernd konstanter  $\text{PaO}_2$  wurde von uns nur bei den Tieren der Gruppe 3 gefunden. Trotzdem ist in der Abbildung 8 bei den Mittelwerten II - V auch für die Gruppe 3 ein leichter Abfall zu erkennen, wie er ja bei den Gruppen 1 und 2 gesichert ist.

Interessant scheint uns im weiteren die Beobachtung, dass in der Gruppe 1 der Sauerstoff-Partialdruck beim III- Wert im Mittel wieder höher liegt als beim II - Wert, hingegen bei den andern beiden Gruppen in der zweiten Viertelstunde der Belastung weiter abfällt. Wenn man annimmt, dass die Zusammensetzung der drei Gruppen bezüglich Trainingszustand der Probanden ungefähr gleich war, könnte der Schluss gezogen werden, dass die an COPD erkrankten Pferde im Verlaufe der Belastung in einen sich verstärkenden  $\text{O}_2$ -Versorgungsengpass geraten, wohingegen die gesunden Tiere sich nach einer Anpassungsphase auf ihren "steady state" einstellen würden.

Um dies jedoch schlüssig abklären zu können, müssten die Pferde einer genau definierten Belastung ausgesetzt werden und es müssten weitere Parameter im Blut bestimmt werden, wie etwa die Lactatkonzentration.

In der Erholungszeit, bei den Werten IV und V, ist zu beachten, dass sich hier wiederum alle Gruppenmittelwerte signifikant voneinander unterscheiden (Abbildung 7).

Die Resultate bei der Hämoglobin-Sauerstoff-Sättigung sind sowohl im Verlaufe der Trabarbeit und der Erholung wie auch bei den Abweichungen von den Ruhewerten direkt von den  $\text{PaO}_2$ -Werten abhängig. Bei der Gegenüberstellung der Sättigungs- und Partialdruck-Werte der einzelnen Pferde kann der Verlauf der Sauerstoff-

Dissoziationskurve des Hämoglobins in ihrem oberen Bereich schön dargestellt werden. Es zeigt sich in den Abbildungen 13 - 16, dass die Gruppe 1 recht homogen betrachtet werden kann, dass jedoch die andern beiden Gruppen ziemlich grosse Streuungen aufweisen.

Die Ergebnisse der Nachuntersuchungen erlauben es uns nicht, eine schlüssige Aussage über Erfolg oder Misserfolg der angeordneten Massnahmen zu machen. Von den 23 Tieren in dieser Untersuchung waren nach 6 Monaten lediglich sechs Patienten, nämlich die Pferde Nr. 32, 42, 44, 49 und 62, klinisch ohne Symptome und beim  $\text{PaO}_2$  den gesunden zuzuordnen. Alle anderen Pferde hatten entweder einen positiven Auskultationsbefund und einen  $\text{PaO}_2$  von weniger als 92 mm Hg - 12 Tiere -, oder aber trotz einem über 95 mm Hg liegenden  $\text{PaO}_2$  pathologische Auskultationsbefunde. Da bei der Nachuntersuchung keine Tracheoskopien vorgenommen wurden, kann auch bei den Patienten ohne klinische Befunde nicht von einer Heilung gesprochen werden, denn es kann, wie die Arbeiten von Fischer (1980) und auch eigene Untersuchungen zeigen, eine latente Bronchitis vorliegen, ohne dass klinisch Befunde zu erheben sind, während bei tracheo- resp. bronchoskopischer Betrachtung pathologische Sekretansammlungen nachgewiesen werden können. Andererseits deuten die gegenüber den 0 - Werten etwas höheren  $\text{PaO}_2$ -Werte zumindest eine teilweise Besserung des Zustandes an.

Aehnliche Resultate werden auch mit der Anwendung gewisser Medikamente erreicht, wobei aber auch in jenen Fällen die Rekonvaleszenz einen grossen Zeitraum in Anspruch nimmt (34, 43). Dies alles darf unserer Ansicht nach nicht darüber hinwegtäuschen, dass bei einem verbesserten Zustand des Tieres noch nicht von einem Therapieerfolg gesprochen werden darf, da ein Pferd als "Leistungssportler" erst bei symptom- und beschwerdefreier Belastbarkeit den Anforderungen genügen wird.

Zur Beurteilung des Ausmasses der Veränderungen in einer erkrankten Lunge genügt es unserer Meinung nach, eine arterielle Blutgasanalyse in Ruhe vorzunehmen. Wie unsere Resultate zeigen, sind die Unterschiede der Messwerte in den einzelnen Gruppen im Ruhezustand am grössten (Abbildung 7).

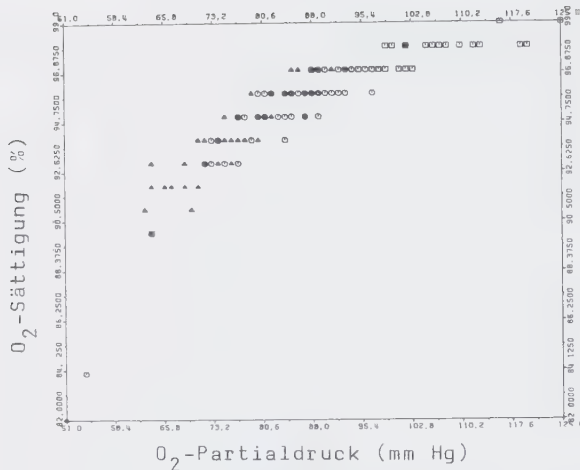


Abbildung 13: Gegenüberstellung des  $PaO_2$  und des  $aO_{2sat}$ -Wertes aller gemessenen Proben in Ruhe.

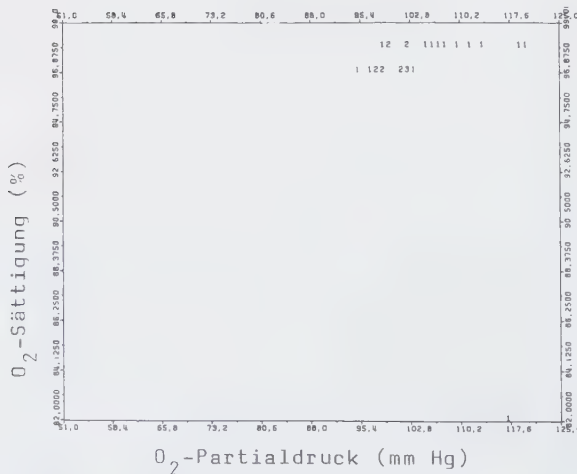


Abbildung 14: Gegenüberstellung des  $PaO_2$  und des  $aO_{2sat}$ -Wertes der Ruhewerte für die Tiere aus der Gruppe 1.

(Zahlen bedeuten Anzahl identischer Messwerte).

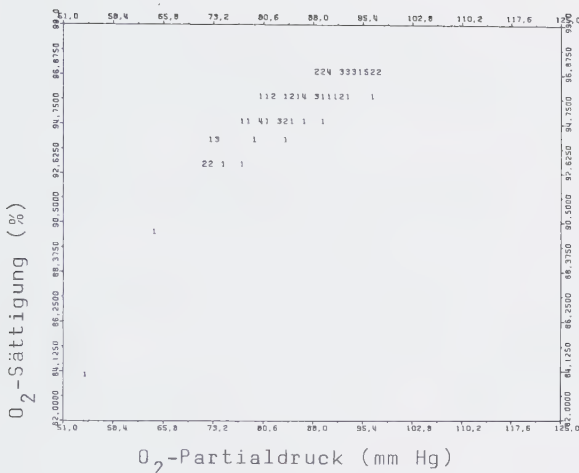


Abbildung 15: Gegenüberstellung des  $PaO_2$  und des  $aO_{2sat}$ -Wertes in Ruhe für die Tiere der Gruppe 2. (Zahlen bedeuten Anzahl identischer Messwerte).

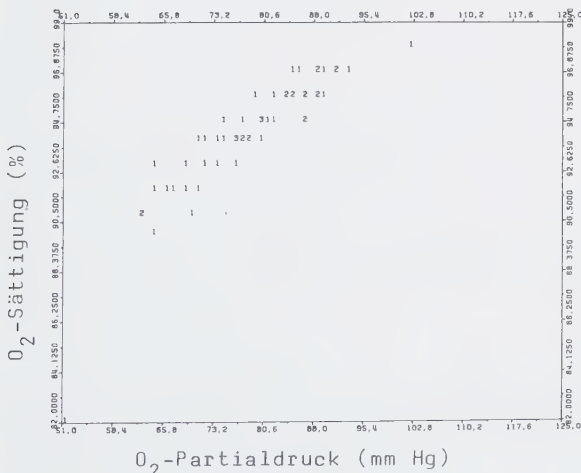


Abbildung 16: Gegenüberstellung des  $PaO_2$  und des  $aO_{2sat}$ -Wertes in Ruhe für die Tiere aus der Gruppe 3. (Zahlen bedeuten Anzahl identischer Messwerte).

In Fällen, wo nach sorgfältiger Anamnese und vollständiger klinischer Untersuchung mit einer arteriellen Blutgasanalyse noch keine Diagnose gestellt werden kann, werden auch weitergehende Untersuchungen wie die Messung von Interpleuraldruck, atemmechanischen Grössen sowie der Ein- und Auswaschungszeiten von inerten Gasen (13, 37, 41, 42) gemessen am Mehraufwand nur ungenügend entsprechende Resultate ergeben und dürften somit von vorwiegend wissenschaftlichem Interesse sein.

Einer solchen speziellen Untersuchungsmethode, natürlich auch einer arteriellen Blutgasanalyse, muss auf jeden Fall eine gewisse klinische Abklärung zu Grunde liegen. Die klinischen Befunde und die Anamnese ergeben oft genügend Hinweise auf die Art der Erkrankung, doch es kann mit Hilfe der arteriellen Blutgasanalyse auf leichte Art ein objektiv messbarer und vergleichbarer Befund erhoben werden.

## Zusammenfassung

Bei insgesamt 162 Pferden, die aufgrund klinischer Befunde in die drei Gruppen

- 1 = Gesunde
- 2 = Pferde mit COPD ohne Lungenerweiterung
- 3 = Pferde mit COPD mit Lungenerweiterung

eingeteilt worden sind, wurden arterielle Blutgasanalysen durchgeführt. Bei einer Anzahl dieser Tiere wurden die Untersuchungen während medikamentell stimulierter Atmung, dann nach 15 Minuten und nach 30 Minuten Trabelbelastung an der Longe sowie eine Viertelstunde und eine halbe Stunde nach dieser Belastung während der Erholungszeit vorgenommen.

Die Resultate zeigen:

- Dass bei keiner der drei Gruppen im Verlaufe der Belastungsphase sowie während der Erholungszeit eine ins Gewicht fallende Störung des Säure-Basen-Gleichgewichtes aufgetreten ist. Vom Ruhewert deutlich abweichende pH- und  $\text{PaCO}_2$ -Werte waren nur während der durch Lobelin künstlich stimulierten Hyperventilation zu beobachten.
- Dass beim Sauerstoff-Partialdruck sowie bei der Sauerstoffsättigung des Hämoglobins im Ruhezustand die deutlichsten Gruppenunterschiede gemessen wurden.
- Dass bei allen drei Gruppen während der Belastung eine Abnahme des  $\text{O}_2$ -Partialdruckes zu beobachten war, die bei der Gruppe 3 mit den niedrigsten Ausgangswerten am geringsten ausfällt. Diese Abnahme ist auch nur für die Gruppen 1 und 2 statistisch gesichert.

Die arterielle Blutgasanalyse kann keinen Ersatz für eine gründliche klinische Untersuchung eines an einem Respirationsleiden erkrankten Pferdes darstellen.

Sie kann jedoch, anlässlich einer solchen Untersuchung angewendet, wertvolle Hinweise auf die Schwere der Erkrankung geben.



## Literatur

- 1.) Bergsten, G.(1974): Blood Pressure, Cardiac output and Blood Gas Tension in the Horse at Rest and during Exercise.  
Acta vet.scand; Suppl. 48, 1-88.
- 2.) Bisgard, G.E., Orr, J.A. und Will, J.A. (1975): Hypoxic Pulmonary Hypertension in the Pony.  
Am.J.Vet.Res. 36, 49-52.
- 3.) Botz, F. (1979): Chronische Bronchitis und Atmungsinsuffizienz des Pferdes.  
Tierärztl. Umschau 34, 332-334.
- 4.) Brunner, P. (1979): Architekturstörungen der Bronchusschleimhaut bei Mensch und Tier-Arten, Formen, Ursachen, Folgen.  
Dtsch.tierärztl.Wschr. 86, 173-176.
- 5.) Bühlmann, A.A. (1975): Klinische Pathophysiologie der Atmung.  
3. Auflage, Georg Thieme Verlag  
Stuttgart, 705-744.
- 6.) Bühlmann, A.A. (1978): Das Lungenemphysem.  
Schweiz. med. Wschr. 108, 254-259.
- 7.) Cohrs, P. (1967) : in Nieberle und Cohrs, Textbook of the Special Pathological Anatomy of Domestic Animals.  
1<sup>st</sup> Ed. Pergamon Press, Oxford, London.
- 8.) Comroe, J.H., Forester, R.F., Dubois, A.B., Briscoe, W.A. und Carlsen, E. (1962): The Lung, Clinical Physiology and Pulmonary Function Tests.  
2<sup>nd</sup> Ed. Year Book Medical Publishers Inc., Chicago.
- 9.) Cook, W.R. (1976) : Chronic Bronchitis and Alveolar Emphysema in the Horse.  
Vet. Rec. 99, 448-451.
- 10.) Dantzker, D.R. und Bower, J.S. (1979): Mechanisms of Gas Exchange Abnormality in Patients with Chronic Obliterative Pulmonary Vascular Disease.  
J.Clin.Invest. 64, 1050-1055.

- 11.) Demers, R.R. (1977): Ventilation/Perfusion Relationship in Health and Disease.  
Respiratory Care 22, 1321-1331.
- 12.) De Moor, A. (1968): Influence of Atropin on Arterial Oxygen Tension, Acid-Base Status and Tissue Hypoxia in the Conscious Horse.  
Zbl. Vet. Med. A, 15, 494-498.
- 13.) Denac, M. (1976) : Funktionelle Residualkapazität und He - Einwaschungszeit bei gesunden und lungenkranken Pferden.  
Zbl. Vet. Med. A, 23, 193-205.
- 14.) Dixon, P.M. (1978): Pulmonary Artery Pressures in normal Horses and in Horses affected with Chronic Obstructive Pulmonary Disease.  
Equine Vet. J. 10, 195-198.
- 15.) Dixon, W.J. und Brown, M.B. (1977): BMDP-77, Bio-medical Computer Programs, P-Series.  
University of California Press, Berkeley.
- 16.) Fischer, J. (1980): Bronchoskopische Untersuchungen als Beitrag zur klinischen und ätiologischen Diagnostik bei Pferden mit Atemwegserkrankungen.  
Vet. Diss. Hannover.
- 17.) Fisher, E.W. (1959 : Arterial Puncture in Horses.  
Vet. Rec. 71, 514-515.
- 18.) Furukawa, R. (1972): Lungenfunktionsprüfung bei Ponies mit und ohne Lungenaffektionen.  
Vet. Diss. Zürich.
- 19.) Gerber, H. (1968): Zur Therapie chronischer Respirationskrankheiten des Pferdes.  
Schweiz. Arch. Tierheilk. 110, 139-153.
- 20.) Gerber, H. (1969): Klinik und Therapie chronischer Lungenleiden des Pferdes.  
Dtsch. tierärztl. Wschr. 76, 234-239.
- 21.) Gerber, H. (1973): Chronic Pulmonary Disease in the Horse.  
Equine Vet. J. 5, 26-32.

- 22.) Gillespie, J.R., Tyler, W.S. und Eberly, V.E. (1965):  
Evaluation of the Respiratory  
Dysfunction of the Emphysematous  
Horse.  
Fed. Proc. 24, 204.
- 23.) Gillespie, J.R., Tyler, W.S. und Eberly, V.E. (1966):  
Pulmonary Ventilation and Resistance  
in Emphysematous and Control Horses.  
J. Appl. Physiology 21, 416-422.
- 24.) Gillespie, J.R. und Tyler, W.S. (1969): Chronic Alveolar  
Emphysema in the Horse. In Advances in  
Vet. Sci. and Comp. Med. 13, 59-100.
- 25.) Greeff, K. und Wirth, K.E. (1977): Ganglionär wirksame  
Substanzen. In Allgemeine und spezielle  
Pharmakologie und Toxikologie.  
2. Aufl., Herg. Forth, W., Henschler, D.  
und Rummel, W. Bibliographisches Inst.  
Verlag Mannheim, Wien, Zürich.
- 26.) Hall, S.A. (1977): Coughing in Horses - An Historical  
Aspect.  
Equine Vet. J. 9, 37-39.
- 27.) Linder, A. und Berchtold, W. (1979): Elementare statistische  
Methoden.  
Birkhäuser Verlag, Basel, Boston,  
Stuttgart.
- 28.) Littlejohn, A. und Mitchell, B. (1969): Acid-Base and  
Blood Gas Studies in Horses.  
Res. Vet. Sci. 10, 260-266.
- 29.) McLaughlin, R.F., Wyler, W.S. und Canada, R.O. (1961):  
A Study of the Subgross Pulmonary  
Anatomy in Various Mammals.  
Am. J. Anatomy 108, 149-165.
- 30.) McPherson, E.A. und Lawson, G.H.K. (1974): Some Aspects  
of Chronic Pulmonary Disease of Horses  
and Methods used in their Investigation.  
Equine Vet. J. 6, 1-6.
- 31.) McPherson, E.A., Lawson, G.H.K., Murphy, J.R., Nicholson,  
J.M., Fraser, J.A., Breeze, R.G. und  
Pirie, H.M. (1978): Chronic Obstructive  
Pulmonary Disease (COPD): Identification  
of affected Horses.  
Equine Vet. J. 10, 47-53.

- 32.) Meister, U., Gerber, H. und Tschudi, P. (1976): Die arterielle Blutgasanalyse in der Diagnostik und Ueberwachung chronisch lungenkranker Pferde. Schweiz. Arch. Tierheilk. 118, 99-104.
- 33.) Minder, H.P. (1977): Beitrag zur Diagnostik und Prognose chronischer Respirationsleiden beim Pferd. Schweiz. Arch. Tierheilk. 119, 341-345.
- 34.) Murphy, J.R., McPherson, E.A. und Dixon, P.M. (1980): COPD: Effects of Bronchodilator Drugs on Normal and Affected Horses. Equine Vet. J. 12, 10-14.
- 35.) Nickel, R., Schummer, A. und Seiferle, E. (1976): Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Bd. III, Paul Parey Verlag Berlin und Hamburg.
- 26.) Rossier, P.H., Bühlmann, A.A. und Wiesinger, K. (1958): Physiologie und Pathophysiologie der Atmung. 2. Aufl. Springer Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg.
- 37.) Sasse, H.H.L. (1971): Some Pulmonary Function Tests in Horses. Proefschrift Dept. of Vet. Medicine, State University of Utrecht.
- 38.) Sasse, H.H.L. (1973): Lungenfunktionsprüfung beim Pferd. Tierärztl. Praxis 1, 49-59.
- 39.) Scherrer, M., Zeller, Ch. und Bachofen, H. (1977): Arterieller CO<sub>2</sub>- und O<sub>2</sub>-Druck in Ruhe und während der Arbeit bei Lungenemphysem. Schweiz. med. Wschr. 107, 1072-1076.
- 40.) Spörri, H. und Schlatter, Ch. (1959): Blutdruckerhöhung im Lungenkreislauf. Schweiz. Arch. Tierheilk. 101, 525-541.
- 41.) Spörri, H. und Denac, M. (1967): Lungenfunktionsprüfung bei Grosstieren. Schweiz. Arch. Tierheilk. 109, 252-259.
- 42.) Spörri, H. und Denac, M. (1970): Zur Diagnostik intrapulmonaler Ventilationsstörungen. Schweiz. Arch. Tierheilk. 112, 408-419.

- 42.) Straub, R., Gerber, H. und Schatzmann U. (1972):  
Dexamethason-Behandlung bei chronischen  
Lungenerkrankungen des Pferdes.  
Schweiz. Arch. Tierheilk. 114, 529-539.
- 44.) The Medical Research Council (1965): Definition and  
Classification of Chronic Bronchitis  
for Clinical and Epidemiological  
Purposes.  
The Lancet, April, 10.
- 45.) Tyler, W.S., Gillespie, J.R. und Nowell, J.A. (1971):  
Modern Functional Morphology of  
the Equine Lung.  
Equine Vet. J. 3, 84-93.
- 46.) Wegmann, Ch. (1980): Persn1. Mitteilung.
- 47.) Wetli, U. (1972) : Vergleichende Untersuchungen bei  
lungenkranken Pferden.  
Vet. Diss. Zürich
- 48.) Wittke, G. (1969): In Spörri, H. und Stünzi, H.  
Pathophysiologie der Haustiere.  
Paul Parey Verlag, Berlin, Hamburg.



## Lebenslauf

Am 10. September 1953 wurde ich in Chur geboren, wo ich auch die Primarschule und an der Bündner Kantonsschule das Gymnasium besuchte. Im Sommer 1973 schloss ich die Schulen mit der Matura Typus B ab und immatrikulierte mich im gleichen Jahr an der Universität Bern zum Studium der Veterinärmedizin. Nach bestandenenem erstem Propädeutikum immatrikulierte ich mich im Jahr 1974 an der Universität Zürich, wo ich das Studium im Herbst 1978 mit dem Fachexamen für Tierärzte abschloss. Seither bin ich an der Veterinär-Medizinischen Klinik der Universität Zürich in der Abteilung für Grosstiere als Assistent tätig.



Herrn Professor Doktor Werner Leemann danke ich für die Ueberlassung des Themas.

Mein besonderer Dank gilt meinen Kollegen Doktor Hanspeter Minder und Doktor Christoph Wegmann, ohne deren ideenreiche und tatkräftige Mithilfe diese Arbeit nicht hätte ausgeführt werden können.

Herrn Doktor Ernst Eggenberger danke ich für seine Mithilfe bei der Ausführung der statistischen Berechnungen.

Nicht zuletzt hat auch die Hilfe der Mitarbeiter der medizinischen Grosstierklinik bei den Untersuchungen im Stall und im Labor wesentlichen Anteil am guten Gelingen der Arbeit gehabt; auch dafür bedanke ich mich herzlich.



## Anhang



| Nr. | Br. | Al. | 0-Wert |                 |                |                                   | I-Wert |                 |                |                                   | II-Wert |                 |                |                                   | III-Wert |                 |                |                                   | IV-Wert |                 |                |                                   | V-Wert |                 |                |                                   | Nach-US |                 |                |                                   |    |    |
|-----|-----|-----|--------|-----------------|----------------|-----------------------------------|--------|-----------------|----------------|-----------------------------------|---------|-----------------|----------------|-----------------------------------|----------|-----------------|----------------|-----------------------------------|---------|-----------------|----------------|-----------------------------------|--------|-----------------|----------------|-----------------------------------|---------|-----------------|----------------|-----------------------------------|----|----|
|     |     |     | pH     | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | HCO <sub>3</sub> O <sub>2</sub> s | pH     | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | HCO <sub>3</sub> O <sub>2</sub> s | pH      | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | HCO <sub>3</sub> O <sub>2</sub> s | pH       | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | HCO <sub>3</sub> O <sub>2</sub> s | pH      | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | HCO <sub>3</sub> O <sub>2</sub> s | pH     | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | HCO <sub>3</sub> O <sub>2</sub> s | pH      | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | HCO <sub>3</sub> O <sub>2</sub> s |    |    |
| 29  | 3   | 6   | 7.36   | 41              | 81             | 23                                | 95     | 7.38            | 36             | 141                               | 21      | 99              | 7.41           | 42                                | 71       | 27              | 94             | 7.40                              | 37      | 53              | 23             | 86                                | 7.42   | 33              | 57             | 21                                | 90      | 7.43            | 34             | 56                                | 22 | 90 |
| 30  | 3   | 6   | 7.38   | 39              | 63             | 23                                | 91     |                 |                |                                   |         |                 | 7.38           | 36                                | 54       | 21              | 86             |                                   |         |                 |                |                                   |        |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |    |    |
| 31  | 3   | 26  | 7.41   | 50              | 63             | 31                                | 91     |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |          |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |        |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |    |    |
| 32  | 2   | 14  | 7.37   | 43              | 87             | 24                                | 96     |                 |                |                                   |         |                 | 7.37           | 46                                | 71       | 26              | 93             | 7.40                              | 43      | 70              | 26             | 93                                | 7.39   | 43              | 88             | 26                                | 96      | 7.42            | 39             | 94                                | 25 | 97 |
| 33  | 2   | 8   | 7.39   | 39              | 98             | 23                                | 97     |                 |                |                                   |         |                 | 7.40           | 43                                | 79       | 27              | 95             | 7.40                              | 45      | 75              | 27             | 95                                | 7.42   | 41              | 78             | 27                                | 95      | 7.41            | 40             | 95                                | 25 | 97 |
| 34  | 2   | 7   | 7.39   | 39              | 98             | 23                                | 97     |                 |                |                                   |         |                 | 7.40           | 43                                | 79       | 27              | 95             | 7.39                              | 46      | 76              | 27             | 94                                | 7.40   | 41              | 93             | 25                                | 97      | 7.40            | 40             | 95                                | 24 | 97 |
| 35  | 2   | 12  | 7.42   | 38              | 88             | 24                                | 97     |                 |                |                                   |         |                 | 7.44           | 39                                | 65       | 26              | 93             | 7.45                              | 36      | 78              | 25             | 96                                | 7.46   | 36              | 76             | 25                                | 96      | 7.46            | 35             | 84                                | 24 | 97 |
| 36  | 2   | 5   | 7.41   | 41              | 96             | 25                                | 97     |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |          |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |        |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |    |    |
| 37  | 2   | 6   | 7.39   | 39              | 91             | 23                                | 96     |                 |                |                                   |         |                 | 7.64           | 21                                | 137      | 22              | 99             |                                   |         |                 |                |                                   |        |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |    |    |
| 38  | 3   | 18  | 7.40   | 41              | 89             | 25                                | 97     |                 |                |                                   |         |                 | 7.41           | 39                                | 81       | 24              | 96             | 7.41                              | 42      | 75              | 27             | 94                                | 7.37   | 45              | 85             | 26                                | 96      | 7.41            | 40             | 84                                | 25 | 96 |
| 39  | 3   | 7   | 7.42   | 49              | 69             | 31                                | 93     |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |          |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |        |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |    |    |
| 40  | 3   | 13  | 7.42   | 40              | 64             | 26                                | 93     |                 |                |                                   |         |                 | 7.38           | 36                                | 54       | 21              | 86             | 7.40                              | 37      | 53              | 23             | 86                                | 7.42   | 33              | 57             | 21                                | 96      | 7.42            | 39             | 94                                | 25 | 97 |
| 41  | 3   | 20  | 7.44   | 40              | 85             | 27                                | 97     |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |          |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |        |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |    |    |
| 42  | 2   | 10  | 7.41   | 43              | 97             | 27                                | 97     |                 |                |                                   |         |                 | 7.55           | 30                                | 130      | 26              | 99             | 7.44                              | 43      | 88              | 29             | 97                                | 7.41   | 48              | 72             | 30                                | 94      | 7.43            | 45             | 91                                | 30 | 97 |
| 43  | 3   | 16  | 7.40   | 34              | 71             | 21                                | 94     |                 |                |                                   |         |                 | 7.41           | 41                                | 68       | 25              | 93             | 7.43                              | 43      | 74              | 28             | 95                                | 7.41   | 43              | 71             | 27                                | 94      | 7.44            | 38             | 77                                | 26 | 95 |
| 44  | 2   | 14  | 7.39   | 42              | 97             | 25                                | 97     |                 |                |                                   |         |                 | 7.46           | 34                                | 102      | 24              | 98             | 7.40                              | 44      | 75              | 27             | 95                                | 7.41   | 43              | 83             | 27                                | 96      | 7.41            | 40             | 90                                | 25 | 97 |
| 45  | 2   | 7   | 7.40   | 45              | 90             | 28                                | 97     |                 |                |                                   |         |                 | 7.53           | 31                                | 121      | 25              | 99             | 7.42                              | 44      | 86              | 28             | 96                                | 7.44   | 43              | 81             | 29                                | 96      | 7.41            | 44             | 83                                | 28 | 96 |
| 46  | 2   | 10  | 7.41   | 39              | 82             | 25                                | 96     |                 |                |                                   |         |                 | 7.52           | 29                                | 108      | 25              | 98             | 7.42                              | 38      | 79              | 24             | 96                                | 7.47   | 36              | 90             | 26                                | 97      | 7.44            | 37             | 77                                | 25 | 96 |
| 47  | 2   | 12  | 7.36   | 46              | 92             | 26                                | 97     |                 |                |                                   |         |                 | 7.38           | 44                                | 97       | 26              | 97             | 7.44                              | 40      | 89              | 27             | 97                                | 7.43   | 41              | 80             | 27                                | 96      | 7.41            | 41             | 95                                | 26 | 97 |
| 48  | 3   | 11  | 7.41   | 46              | 75             | 29                                | 95     |                 |                |                                   |         |                 | 7.45           | 41                                | 89       | 28              | 97             | 7.42                              | 43      | 75              | 28             | 95                                |        |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |    |    |
| 49  | 2   | 5   | 7.40   | 44              | 92             | 27                                | 97     |                 |                |                                   |         |                 | 7.39           | 44                                | 90       | 27              | 97             | 7.41                              | 46      | 86              | 29             | 96                                | 7.42   | 43              | 84             | 28                                | 96      | 7.42            | 43             | 87                                | 27 | 97 |
| 50  | 3   | 15  | 7.38   | 43              | 67             | 25                                | 92     |                 |                |                                   |         |                 | 7.48           | 34                                | 75       | 25              | 96             | 7.42                              | 43      | 74              | 28             | 95                                | 7.46   | 40              | 75             | 28                                | 95      | 7.43            | 44             | 65                                | 29 | 92 |
| 51  | 2   | 21  | 7.39   | 43              | 86             | 25                                | 96     |                 |                |                                   |         |                 | 7.47           | 36                                | 89       | 26              | 97             | 7.43                              | 44      | 84              | 29             | 96                                | 7.46   | 43              | 91             | 30                                | 97      | 7.44            | 44             | 86                                | 29 | 97 |
| 52  | 3   | 10  | 7.38   | 47              | 75             | 28                                | 94     |                 |                |                                   |         |                 | 7.43           | 42                                | 74       | 28              | 95             | 7.43                              | 41      | 76              | 28             | 95                                | 7.42   | 43              | 72             | 28                                | 94      | 7.41            | 41             | 76                                | 26 | 95 |
| 53  | 2   | 14  | 7.41   | 42              | 93             | 26                                | 97     |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |          |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |        |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |    |    |
| 54  | 3   | 13  | 7.38   | 47              | 84             | 28                                | 96     |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |          |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |        |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |    |    |
| 55  | 3   | 8   | 7.35   | 49              | 87             | 26                                | 95     |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |          |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |        |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |    |    |
| 56  | 3   | 8   | 7.39   | 39              | 77             | 24                                | 95     |                 |                |                                   |         |                 | 7.38           | 41                                | 100      | 24              | 97             |                                   |         |                 |                |                                   |        |                 |                |                                   |         |                 |                |                                   |    |    |

[illegible]

| Nr. | Gr. | Al. | O-Wert |                 |                |                                   |
|-----|-----|-----|--------|-----------------|----------------|-----------------------------------|
|     |     |     | pH     | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | HCO <sub>3</sub> O <sub>2</sub> s |
| 85  | 3   | 18  | 7.38   | 42              | 84             | 25 96                             |
| 86  | 2   | 8   | 7.49   | 38              | 89             | 28 97                             |
| 88  | 2   | 8   | 7.36   | 42              | 80             | 22 96                             |
| 89  | 2   | 14  | 7.39   | 41              | 96             | 25 97                             |
| 90  | 3   | 7   | 7.42   | 42              | 91             | 27 97                             |
| 91  | 3   | 7   | 7.40   | 42              | 85             | 26 96                             |
| 92  | 2   | 11  | 7.47   | 42              | 88             | 23 97                             |
| 93  | 2   | 6   | 7.43   | 43              | 90             | 28 97                             |
| 94  | 2   | 5   | 7.38   | 44              | 87             | 26 96                             |
| 95  | 2   | 10  | 7.34   | 36              | 81             | 19 95                             |
| 96  | 3   | 4   | 7.35   | 42              | 80             | 23 95                             |
| 97  | 2   | 14  | 7.49   | 40              | 90             | 30 97                             |
| 98  | 3   | 9   | 7.38   | 49              | 80             | 28 95                             |
| 99  | 3   | 6   | 7.44   | 43              | 64             | 29 92                             |
| 101 | 3   | 15  | 7.34   | 44              | 72             | 23 93                             |
| 102 | 2   | 7   | 7.38   | 44              | 74             | 26 94                             |
| 103 | 2   | 5   | 7.42   | 48              | 84             | 31 96                             |
| 104 | 2   | 9   | 7.40   | 46              | 88             | 28 96                             |
| 105 | 2   | 6   | 7.36   | 43              | 88             | 24 96                             |
| 106 | 3   | 12  | 7.32   | 40              | 78             | 21 94                             |
| 108 | 2   | 8   | 7.38   | 32              | 74             | 19 94                             |
| 109 | 2   | 11  | 7.40   | 34              | 80             | 21 95                             |
| 110 | 3   | 8   | 7.32   | 50              | 70             | 25 91                             |
| 111 | 3   | 12  | 7.33   | 45              | 74             | 24 93                             |
| 112 | 2   | 12  | 7.33   | 45              | 75             | 23 93                             |
| 113 | 3   | 13  | 7.39   | 42              | 66             | 25 92                             |
| 114 | 2   | 11  | 7.33   | 42              | 83             | 22 95                             |
| 115 | 2   | 7   | 7.37   | 47              | 85             | 27 96                             |

| Nr. | Gr. | Al. | O-Wert |                 |                |                                   |
|-----|-----|-----|--------|-----------------|----------------|-----------------------------------|
|     |     |     | pH     | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | HCO <sub>3</sub> O <sub>2</sub> s |
| 116 | 2   | 9   | 7.34   | 40              | 84             | 21 95                             |
| 117 | 2   | 7   | 7.32   | 42              | 79             | 21 94                             |
| 118 | 3   | 14  | 7.42   | 42              | 87             | 27 96                             |
| 119 | 2   | 10  | 7.34   | 42              | 89             | 22 96                             |
| 120 | 3   | 11  | 7.37   | 45              | 89             | 26 96                             |
| 121 | 2   | 4   | 7.37   | 39              | 73             | 22 94                             |
| 122 | 3   | 12  | 7.37   | 37              | 76             | 22 94                             |
| 123 | 2   | 9   | 7.36   | 45              | 72             | 25 93                             |
| 124 | 2   | 10  | 7.31   | 42              | 87             | 21 95                             |
| 125 | 2   | 6   | 7.43   | 43              | 77             | 28 95                             |
| 126 | 3   | 13  | 7.37   | 43              | 80             | 25 95                             |
| 127 | 3   | 8   | 7.34   | 47              | 77             | 25 94                             |
| 128 | 3   | 10  | 7.33   | 41              | 78             | 21 94                             |
| 129 | 3   | 9   | 7.35   | 40              | 77             | 22 94                             |
| 130 | 2   | 6   | 7.42   | 45              | 90             | 29 97                             |
| 131 | 2   | 7   | 7.33   | 44              | 73             | 23 93                             |
| 132 | 2   | 8   | 7.29   | 41              | 93             | 20 96                             |
| 133 | 2   | 6   | 7.41   | 47              | 82             | 30 96                             |
| 134 | 2   | 5   | 7.38   | 38              | 92             | 23 97                             |
| 135 | 2   | 15  | 7.30   | 47              | 84             | 23 95                             |
| 136 | 2   | 7   | 7.34   | 47              | 83             | 25 95                             |
| 137 | 3   | 8   | 7.31   | 44              | 80             | 22 94                             |
| 138 | 3   | 9   | 7.41   | 45              | 88             | 29 96                             |
| 139 | 3   | 9   | 7.31   | 41              | 87             | 20 95                             |
| 140 | 2   | 9   | 7.37   | 44              | 72             | 25 93                             |
| 141 | 3   | 13  | 7.36   | 43              | 51             | 24 82                             |
| 142 | 2   | 18  | 7.34   | 44              | 64             | 23 90                             |
| 143 | 2   | 11  | 7.35   | 43              | 92             | 24 96                             |

| Nr. | Gr. | Al. | O-Wert |                 |                |                                   |
|-----|-----|-----|--------|-----------------|----------------|-----------------------------------|
|     |     |     | pH     | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | HCO <sub>3</sub> O <sub>2</sub> s |
| 144 | 2   | 3   | 7.24   | 45              | 89             | 19 95                             |
| 145 | 3   | 10  | 7.32   | 51              | 71             | 26 92                             |
| 146 | 2   | 8   | 7.31   | 47              | 77             | 24 93                             |
| 147 | 3   | 6   | 7.35   | 46              | 64             | 25 90                             |
| 148 | 2   | 4   | 7.42   | 44              | 96             | 28 97                             |
| 149 | 2   | 6   | 7.34   | 46              | 87             | 24 96                             |
| 150 | 2   | 11  | 7.31   | 45              | 85             | 22 95                             |
| 151 | 2   | 11  | 7.37   | 48              | 90             | 27 96                             |
| 152 | 2   | 8   | 7.26   | 51              | 84             | 22 94                             |
| 153 | 2   | 9   | 7.34   | 44              | 87             | 23 96                             |
| 155 | 3   | 8   | 7.43   | 40              | 91             | 26 97                             |
| 156 | 2   | 13  | 7.36   | 45              | 80             | 25 95                             |
| 157 | 3   | 15  | 7.30   | 40              | 76             | 20 93                             |
| 158 | 3   | 10  | 7.42   | 43              | 82             | 28 96                             |
| 159 | 2   | 8   | 7.38   | 47              | 94             | 27 97                             |
| 160 | 2   | 6   | 7.35   | 44              | 73             | 24 93                             |
| 161 | 2   | 8   | 7.38   | 46              | 80             | 27 95                             |
| 162 | 2   | 9   | 7.41   | 41              | 74             | 26 94                             |
| 163 | 2   | 7   | 7.39   | 42              | 95             | 25 97                             |
| 164 | 3   | 10  | 7.40   | 43              | 74             | 27 94                             |
| 165 | 3   | 7   | 7.34   | 43              | 76             | 23 94                             |
| 166 | 2   | 8   | 7.35   | 40              | 83             | 22 95                             |









